



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**PEVNOSTNÍ NÁVRH ZÁVĚSU S NESTANDARDNÍMI
ROZMĚRY**

STRENGTH DESIGN OF HANGER WITH NON-STANDARD DIMENSIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jonáš Zajíc

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Lošák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Jonáš Zajíc**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Lošák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Pevnostní návrh závěsu s nestandardními rozměry

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je pevnostní návrh závěsu potrubí s nestandardními rozměry. Součástí práce bude také provedení rešerše z dané oblasti, tvorba výkresové dokumentace a zhodnocení výsledků.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracování rešerše z oblasti závěsů potrubí.
- Návrh závěsu dle specifických požadavků, kde bude zpracována motivace k řešení, vlastní návrh, ověření pevnosti.
- Zhodnocení výsledků.
- Zpracování výkresové dokumentace.

Seznam literatury:

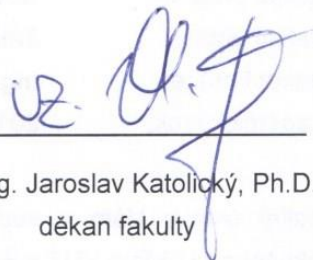
S. Timoshenko, Strength of materials. Malabar, Fla.: Krieger Pub. Co., 1983.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce byla vytvořena ve spolupráci s firmo MPS Gradior. Práce se zabývá návrhem a analýzou jedno třmenného závěsu s nenormalizovanými rozměry pro potrubí s označením DN 1400.

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření návrhu závěsu na základě předchozí literární rešerše a následná pevnostní analýza pod statickým silovým zatížením za pomoci metody konečných prvků za použití softwaru ANSYS. Po ověření funkčnosti a bezpečnosti navrhovaného modelu byla vytvořena detailní výkresová dokumentace, která sloužila jako podklad pro výrobu prototypového dílu.

Abstract

This bachelor thesis was created in cooperation with MPS Gradior. The thesis deals with the design and analysis of one-dimensional hanger with non-normalized dimensions for DN 1400 pipes.

The aim of the bachelor thesis was to create a design of non-standardized pipe hanger based on the previous background research. The subsequent strength analysis under static force loading was performed using the finite element method with help of the ANSYS software. After verification of the functionality and the security of the proposed model, detailed drawing documentations have been developed to serve as the basis for a production of the prototype part.

Klíčová slova:

závěs potrubí, pevnostní analýza, ANSYS, metoda konečných prvků

Keywords:

pipe hanger, stress analysis, ANSYS, finite element method

Bibliografická citace

ZAJÍC, J. *Pevnostní návrh závěsu s nestandardními rozměry*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 63 s. Vedoucí práce Ing. Pavel Lošák, Ph.D.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Pavlovi Lošákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Brně dne 26. 5. 2017.

.....

Zajíc Jonáš

Obsah

Úvod.....	15
1. Uložení potrubí.....	17
1.1 Funkce závěsů a podpěr.....	17
1.2 Typy uložení.....	17
1.2.1 Závěsy a pružinové závěsy.....	17
1.2.2 Konstantní závěs	20
1.2.3 Podpěra kluzná	20
1.2.4 Pevné uložení	21
1.2.5 Omezovače tlumení a tlumiče rázů	21
2. Potrubní síť	23
2.1 Trubky.....	23
2.1.1 Bezešvé trubky	23
2.1.2 Svařované trubky.....	24
2.2 Ohyby, kolena a tvarovky.....	24
2.2.1 Ohyby a kolena.....	24
2.2.2 Tvarovky	24
2.3 Spoje trubek.....	24
2.3.1 Spoje nerozebíratelné	25
2.3.2 Spoje rozebíratelné.....	25
2.4 Korozivní přídavek	25
2.5 Izolace.....	26
2.6 Norma ČSN EN 13 480.....	27
2.6.1 Norma ČSN EN 13 480-3	27
2.6.2 Teplota izolovaných částí.....	29
3. Síly působící na potrubí.....	31
3.1 Zadání	31
3.2 Výpočtový program CAEPIPE.....	32

3.3	Program Bentley Autopipe	35
4.	Napjatost	37
5.	Pevnostní návrh závěsu s nestandardními rozměry	39
5.1	Vstupní parametry pro analýzu závěsu.....	40
5.2	Analýza závěsu	40
5.3	Okrajové podmínky	42
5.4	Vypočtené zatížení modelu.....	43
5.5	Bezpečnost	46
5.6	Fotografie z výroby.....	49
6.	Možnost pokračování v diplomové práci.....	53
7.	Závěr.....	55
8.	Seznam použitých zdrojů	57
9.	Použité symboly a zkratky	59
10.	Seznam příloh.....	61
10.1	Přílohy v deskách bakalářské práce.....	61
10.2	Příloha na CD.....	61

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem analýzou závěsu potrubí, které jsou používány v oblasti inženýrských sítí. Potrubí jako takové je neodmyslitelnou součástí průmyslových provozů a jeho efektivní a bezpečné uložení je jedním z hlavních kritérií při návrhu potrubních systémů.

V průmyslu představuje potrubní systém nejrozšířenější způsob přenosu médií. Velké zastoupení má např. v chemické průmyslu či energetice, ale není to jediné využití. V moderní společnosti se tyto systémy nacházejí téměř všude, kdy v zemi leží tisíce kilometrů vodovodů a kanalizací. Historie potrubních systémů sahá až do roku 2500 let př. n. l. (první vodovody) [1]. S tím souvisel i jistý druh podpěr či závěsů, aby přepravované médium v pořádku dorazilo do cíle. V historii šlo především o dopravu pitné vody do měst. V Evropě se jednalo o ohromné stavby v podobě akvaduktů, kde podpěry byly tvořeny z kamenných mostů. V Číně byl pro přenos médií používán především bambus, který byl jednoduchým předchůdcem dnešních potrubních systémů [2].

Dnešní pokročilá technologie výroby potrubních systémů umožňuje širokou škálu aplikací a modifikací na základě potřeb jednotlivých průmyslových odvětví. Potrubními systémy je možné přepravovat různá média, ať už jsou to plyny, kapaliny nebo dokonce i pevné látky.

Ačkoli by se mohlo zdát, že uložení potrubí může být rutinní záležitostí, není tomu tak. Návrh uložení potrubí musí splňovat několik, zejména mechanických a bezpečnostních kritérií, které je nutné za každých okolností bezpodmínečně dodržet. V případě užití nevhodného typu závěsu může být ohrožena funkčnost celého potrubního systému a může dojít k úniku přenášeného média. Konstruktor a projektant při návrhu závěsných systémů zohledňuje různorodá kritéria jako například teplota média, která proudí v potrubí, hydraulický ráz, síly, které působí na jednotlivé části závěsného systému či seismické zatížení.

Tato práce se detailně zabývá jednotlivými typy uchycení a jejich vazbou na používané potrubí, jejich výrobou a následnou aplikací. Na teoretickou část navazuje část praktická, ve které je uvedeno shrnutí dostupných výpočtových softwarů, které jsou používány pro pevnostní analýzy. Pevnostní analýza navrhovaného modelu je realizována za pomoci softwaru ANSYS Workbench za užití metody konečných prvků (MKP). Na základě této analýzy je poté vypracována výkresová dokumentace sloužící jako podklad pro výrobu.

1. Uložení potrubí

Uložení potrubí jsou myšleny mechanické prvky (závěsy, podpěry) a sestavy, které spojují potrubní systémy s pevnými částmi (podlahy, nosné konstrukce nebo stropy). Uložení potrubí nemá mít pouze funkci upevnění a udržení potrubí na místě, ale mělo by zajistit uložení bez velkého pnutí a deformací, které by mohly mít za následek ohrožení funkčnosti potrubního systému. Účelem uložení potrubního systému je zajištění bezpečného a stabilního uchycení v dopředu propočítané a ověřené trase potrubí. V uložení může docházet i k mírným deformacím, zejména v důsledku změny teploty mezi odstávkou a provozem, nesmí však být ohrožena stabilita a bezpečnost potrubního systému pod působením vnějších sil či rázů [3].

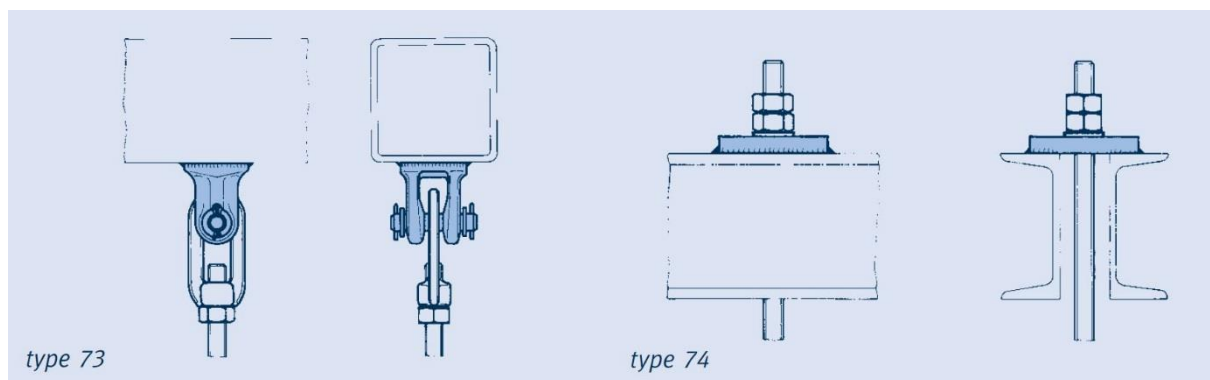
1.1 Funkce závěsů a podpěr

Závěsy a podpěry musí odolávat statickému a dynamickému zatížení. Mezi statické zatížení patří zejména vlastní hmotnost potrubního systému. Nejedná se však pouze o samotnou váhu potrubí, ale je nutné počítat i s váhou přenášeného média a s vloženými ventily a izolací potrubního systému. Do dynamického zatížení lze zahrnout působení vnějších sil. Pokud se potrubní systém nachází mimo budovu v otevřeném prostoru, je potrubní systém vystaven i vnějším vlivům a to zejména povětrnostním podmínkám. Dále je v určitých případech potřeba uvažovat i se seismickým zatížením, které je vyvoláno zemětřesením. Poslední příklad dynamického zatížení je hydraulický ráz. Ten vzniká, když je ventil na konci potrubí rychle uzavřen. Jendá se o tlakovou vlnu, která je šířena potrubím. Tento jev je možné eliminovat speciálními bezpečnostními zařízeními známými jako hydraulický tlumič.

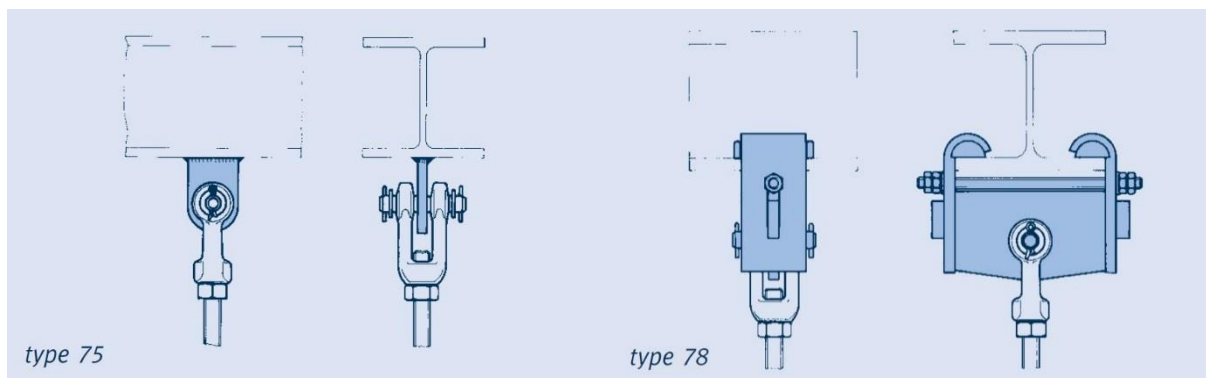
1.2 Typy uložení

1.2.1 Závěsy a pružinové závěsy

Závěsy přenášejí tíhu a vertikální složku zatížení potrubí pomocí táhla, které zabraňuje posuvu potrubí směrem dolů. Táhllo je připevněno na nosnou konstrukci budovy nad potrubím. Čtyři základní typy uchycení jsou uvedeny na Obr. 1 a Obr. 2 [3].



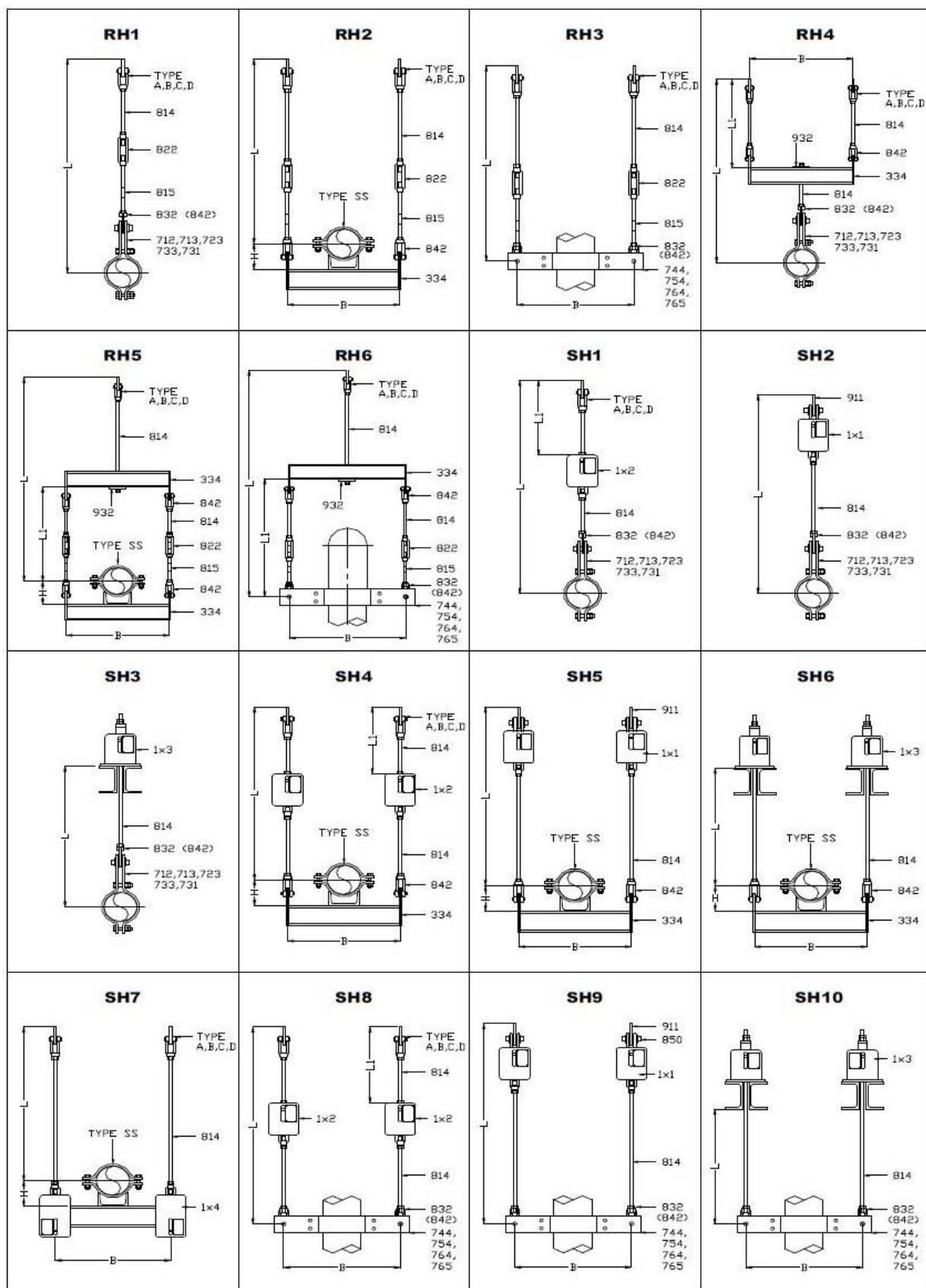
Obr. 1 Typy uchycení LISEGA [4].



Obr. 2 Typy uchycení LISEGA [4].

Uvedené typy závěsů byly navrženy výrobcem závěsů a podpěr Lisega. U typu 73 (Obr.1) jde o přivařovací vidlici, která slouží pro uchycení potrubí s vyššími vodorovnými posuvy. Typ 74 (Obr.1) je využíván při aplikacích s nulovou úhlovou výchylkou a je využíván zejména u dvou U-profilů. Typ 75 (Obr.2) navržen jako přivařovací oko, které se přes čep propojí s vidlicí. Vidlice má ve spodu vlastní závit, do kterého se posléze zašroubuje táhlo závěsu. Značnou výhodou typu 78 je snadná montáž. Montáž se provádí bez svařování, což se využije například u pozinkovaných konstrukcí. Jedná se o konstrukci, která se nasouvá na profily typu HEA a HEB. Zajištění se provádí pomocí závitové tyče a matic [5].

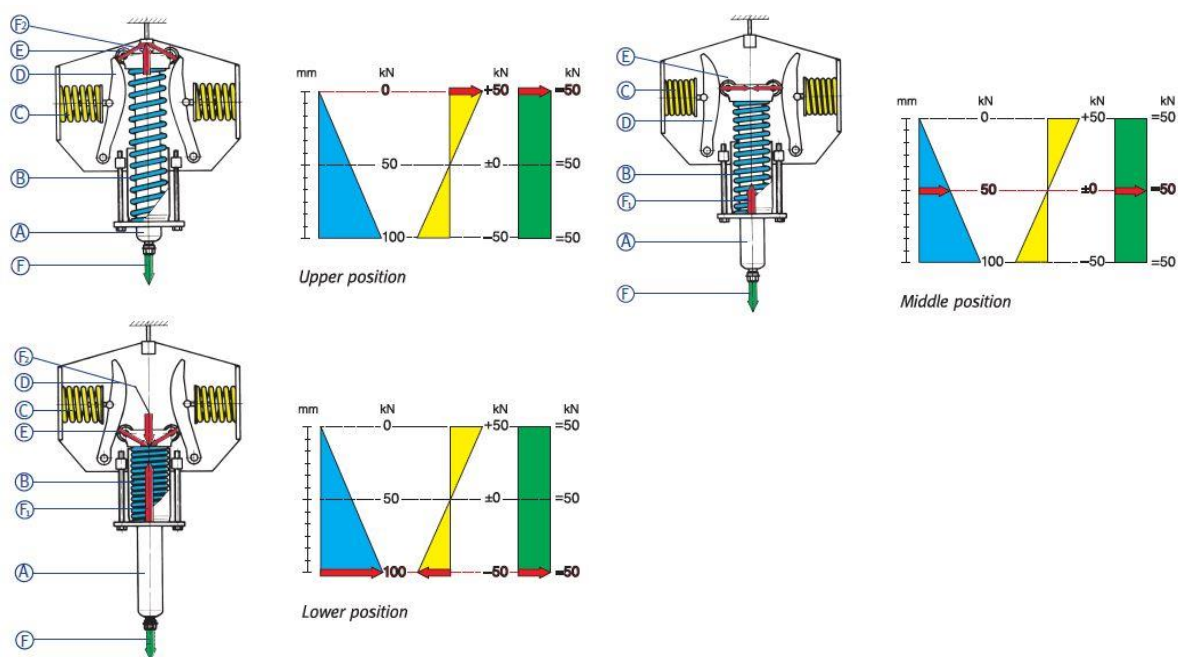
Na Obr. 3 jsou uvedeny typy závěsů, které dodává a vyrábí brněnská firma MPS Gradior. Jedná se o několik rozdílných typů, od jedno táhlových pevných závěsů (RH1), přes závěsy do svislého potrubí (SH8), až po dvou táhlové pružinové závěsy (SH4 a SH5) [5].



Obr. 3 Typy závěsů MPS Gradior [6].

1.2.2 Konstatní závěs

Konstatní závěs je používán, pokud je potřeba mít konstatní nosnou sílu nezávislou na posuvu. Tyto závěsy jsou využívány v případě větších vertikálních posuvů. Princip fungování konstatního závěsu je uveden na Obr. 4, jenž znázorňuje tři základní polohy konstatního závěsu [3].



Obr. 4 Grafické znázornění konstatní síly v závěsu [4].

1.2.3 Podpěra kluzná

Jedná se o nejčastější způsob uchycení potrubního systému. Kluzná podpěra má za úkol zachycovat vertikální síly od potrubí. V horizontálním směru má potrubí možnost libovolného pohybu. Pokud je nutné dále omezit pohyb potrubí, může být podpěra dále modifikována, jako podpěra kluzná s vedením, popřípadě se zarážkou. Na Obr. 5 je znázorněna kluzná podpěra a její modifikace od firmy Witzenmann [3].

Type 23



Type 33



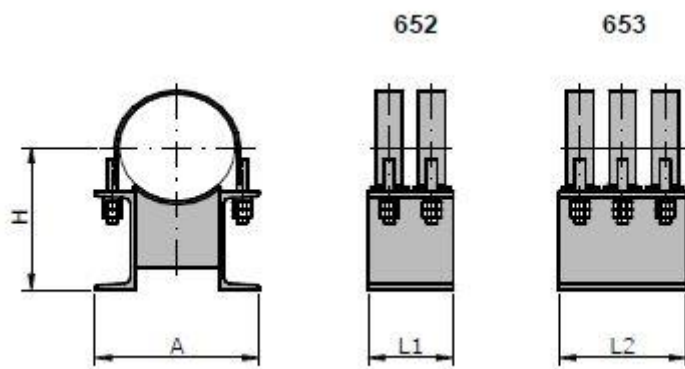
Type 63



Obr. 5 Kluzná podpěra od výrobce Witzenmann typ 23, 33 a 63 [7].

1.2.4 Pevné uložení

Konstrukce pevného bodu omezuje natočení a posuvy ve všech směrech. Velmi často se využívá i při výpočtech sil v podpěrách a závěsech. Využívá se zde již zmíněného omezení ve všech směrech. V případě, že je možnost si pevný bod zvolit, volíme ho na začátku a na konci počítaného úseku potrubního systému. Pro bližší specifikaci je na Obr. 6 znázorněn pevný bod od firmy MPS Gradior. [3]



Obr. 6 Dvou a tří třmenový pevný bod od MPS Gradior [6].

1.2.5 Omezovače tlumení a tlumiče rázů

Omezovače a tlumiče patří mezi další známé druhy uložení potrubí. Slouží především k eliminaci negativních pohybů potrubí, jako jsou rázy a kmitání. Tyto jevy, které se u potrubních systémů mohou vyskytovat například při otevření ventilů, mohou velmi negativně ovlivňovat pevnost celého systému [3].

2. Potrubní síť

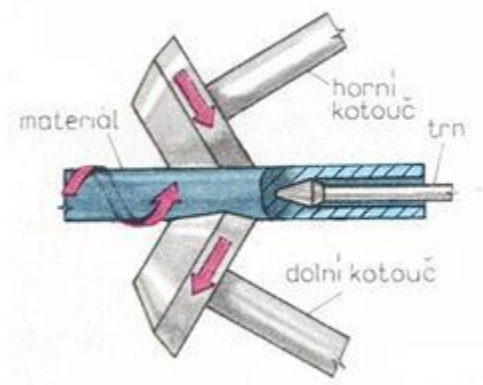
Potrubní síť se skládá z několika různých komponentů. Největší část tvoří samotné trubky, dále pak tvarovky, které slouží pro změnu směru či spojení a mohou rozdělovat i ukončovat potrubní trasy. Potrubní síť dále obsahuje prvky pro stabilní ukotvení a také armatury či kompenzační prvky, které se liší s ohledem na danou aplikaci.

2.1 Trubky

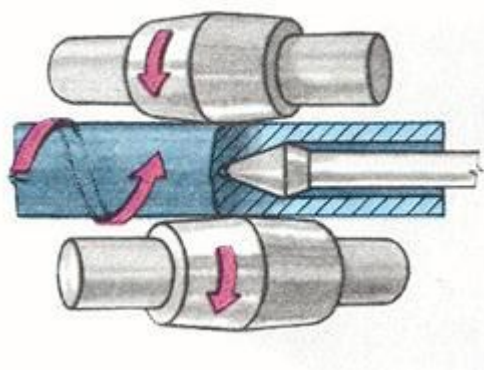
Trubky tvoří značnou část potrubní sítě, proto se největší měrou podílí na vlastnostech a chování celé soustavy potrubí.

2.1.1 Bezešvé trubky

Pro výrobu bezešvých trubek existuje několik výrobních postupů. Výroba může probíhat válcováním, tažením, protahováním či dopředním protlačováním. Nejčastějším způsobem výroby bezešvých trubek je však válcování. Trubky se můžou válcovat za tepla či za studena. V praxi se nejvíce používá způsob válcování za tepla. Jedním z druhů výroby bezešvých trubek jsou metody Stiefel a Mannesman viz. Obr. 7 a Obr. 8 [8]. Výroba bezešvých trubek je z pravidla finančně nákladná [9].



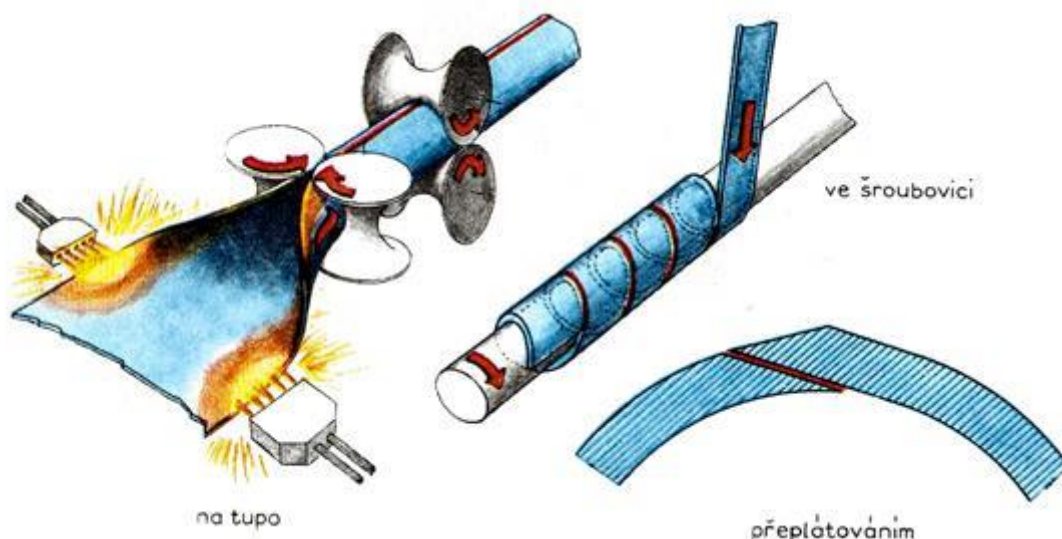
Obr. 7 Výroba bezešvé trubky metodou Stiefel [8].



Obr. 8 Výroba bezešvé trubky metodou Mannesman [8].

2.1.2 Svařované trubky

Svařované trubky slouží jako levnější alternativa trubek bezešvých. Bezešvé trubky se vyrábějí z pásové oceli. Jednotlivé pásy jsou svařovány ve šroubovici a to ve dvou provedeních: na tupo a nebo přeplátováním. Detail výroby je uveden na Obr. 9. Použití tohoto typu trubech je však značně limitováno a to zejména kvůli omezené pevnosti jednotlivých svarů [10].



Obr. 9 Druhy svařovaných potrubí [1].

2.2 Ohyby, kolena a tvarovky

Ohyby, kolena a tvarovky jsou dílčími prvky potrubních systémů, jenž umožňují potrubí měnit směr a tvar. Díky těmto prvkům je možné vytvořit rozsáhlou, rozvětvenou a komplexní potrubní síť.

2.2.1 Ohyby a kolena

Tyto díly existují jako odlitky, či hotové výlisky. Dají se vyrobit i ohýbáním trubky za tepla či studena. Má to však svá úskalí, ohýbáním trubky dochází ke dvěma komplikacím. Ke zvrásnění stěny na vnitřním poloměru a zeslabení stěny na poloměru vnějším [5].

2.2.2 Tvarovky

Mezi nejčastější tvarovky patří typy T a Y. Slouží ke spojení či rozdělení potrubních systémů. Prvky s odlišným průřezem lze spojit pomocí redukce a potrubní trasa jde zaslepit pomocí záslepky [5].

2.3 Spoje trubek

Jako u ostatních spojení se i spoje u trubek dělí na rozebíratelné a nerozebíratelné. Výhodou rozebíratelného spoje je možnost rozpojení potrubí. S tím je spojena větší náchylnost k porušení spoje, netěsnosti a nutnosti častější údržby. Na těžko dostupných místech se volí nerozebíratelné spoje, vzhledem k jejich téměř nulové údržbě.

2.3.1 Spoje nerozebíratelné

Mezi nejčastěji volenou metodou u nerozebíratelného spoje, je svar. Svařování je například možné i na ropných plošinách pod hladinou oceánu. Mezi další zástupce se můžou zařadit spoje lepené, lisované a pájené [12].

2.3.2 Spoje rozebíratelné

Nejběžnější způsob realizace rozebíratelného spoje je pomocí příruby. Je to jednoduchý spoj, který se skládá ze dvou přírub, těsnění a šroubů s maticemi. Spojení mezi potrubím a přírubou má několik možností. Může se zde použít například svarový či závitový spoj [13,14].

Přírubové spoje existují v několika normalizačních provedeních. Nejdůležitější je zajistit, aby spoj těsnil a nedocházelo k prosakování média. Tuto vlastnost má přírubový spoj zejména díky těsnění, které obsahuje. Těsnění vyplní nejmenší nerovnosti na povrchu těsnících ploch přírub a pomocí šroubových spojů se zajistí, aby příruba těsnila. Typ těsnění a těsnícího spoje je volen zejména podle tlaku, teploty a média, které proudí v potrubní soustavě [13].

Mezi další zástupce rozebíratelného spoje patří násuvná hrdlová spojení, strojírenská šroubení a další [15,16].

2.4 Korozivní přídavek

Médium, které proudí v potrubí, může způsobovat korozi či erozi materiálu. Korozivní přídavek se připočítává k tloušťce potrubí, aby se vyvážil úbytek materiálu. Koroze trubky není způsobena pouze přepravovaným médiem, ale může být způsobena na vnější části potrubí i klimatickým prostředím. Korozivní přídavek se může i vynechat, pokud se použijí materiály, které jsou odolné vůči korozi. Aby se určil korozivní přídavek, musí být známo velké množství faktorů. V první řadě je potřeba znát vlastnosti přepravovaného média a místo, kde bude potrubí uloženo (klimatické podmínky). Dnes existují i tabulky s pracovními látkami a velikostí přídavku (Tab.1) [17].

Tab. 1 Tabulka přídávků na korozi [18].

Pracovní látka	Přídavek na korozi a erozi c_0 [mm]
přehřátá pára	0,5
sytá pára	1
málo agresivní voda	1
vlhký vzduch	2
agresivní voda	3

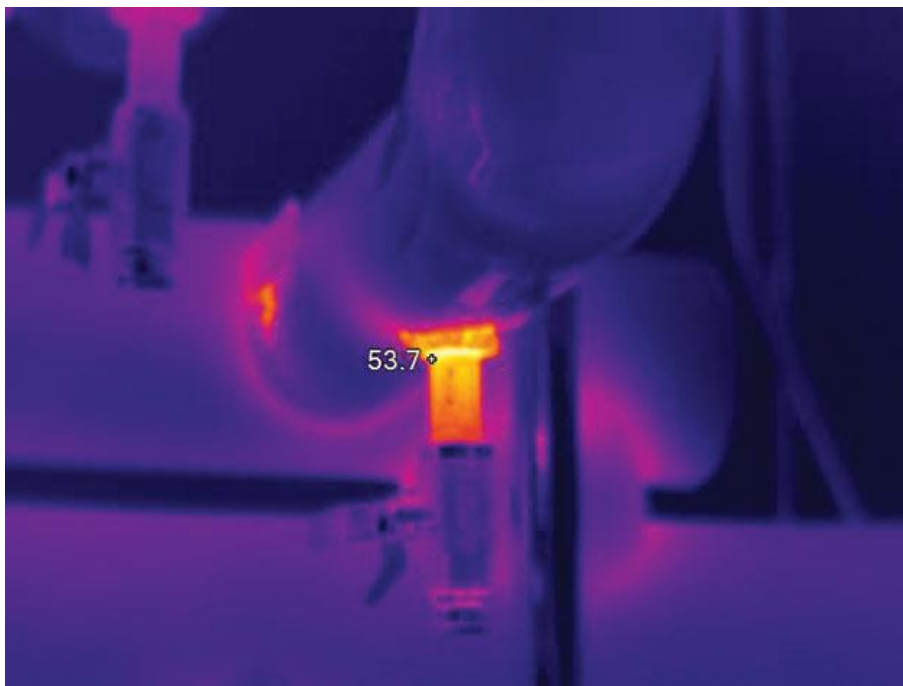
2.5 Izolace

Důležitou vlastností přenosové či potrubní soustavy je její hospodárnost. Z tohoto důvodu je potřeba potrubí izolovat. Důvod je zejména v teplotě přepravovaného média a teplotě v okolí potrubního systému. Když má přepravované médium vyšší teplotu než okolí, tak dochází k tepelným ztrátám. Pokud je stav opačný, může docházet k orosování povrchu. V případě tepláren, které dodávají teplo do domácností, to znamená, vyrobí více tepla, než se nakonec dodá zákazníkům. Kvalitní izolace sice nedokáže zamezit ztrátám úplně, ale může je značně redukovat [9].

V dnešní době již existuje spousta programů, popřípadě tabulek, které pomáhají s určováním tloušťky izolace. Je potřeba si uvědomit, že mít nulové či minimální ztráty nemusí být nejvhodnější volbou. Je nutné zvážit, zda investice do izolace nebude mnohonásobně větší než hodnota ztráty způsobená ztrátou menší izolace.

Pro ukázkou je zde rovnice (1.1), která počítá tepelnou ztrátu izolované válcové stěny. Rovnice závisí na rozdílu teplot prostředí, druhu izolačního materiálu, jeho tloušťce, průměru potrubí a typu dopravovaného média [9].

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot \Delta t \quad (1.1)$$



Obr. 10 Neizolovaná část potrubí [19].

Další hodnoty, které je nutné zohlednit při výpočtu, jsou části bez izolace. Často jsou to neizolované armatury, uchycení, přírubové spoje či zařízení. Jak vypadá taková neizolovaná část na termokameře je možno vidět na Obr. 10. V důsledku provozu potrubního systému dochází i k zhoršení vlastností izolace, i když je izolace vždy chráněna pláštěm či obalem (například ve formě plechu). Izolace postupem času stárne a dochází i k navlhnutí. Vlhká izolace zvětšuje tepelné ztráty. Všechny tyto ztráty se zahrnují do „přídavku“, který bývá v rozmezí 10 % až 50 % [14].

Izolace by měla být vyrobena z materiálu, který má nízkou hustotu a tepelnou vodivost. Obě hodnoty závisí na námi zvoleném materiálu, tyto údaje je možno nalézt v tabulkách. Většinou se používá skelná nebo minerální vata, polystyren či polyuretan a nebo lze použít i izolační pěny [9,12].

2.6 Norma ČSN EN 13 480

Jako většina odvětví ve strojírenství má i potrubní systém a konstrukce okolo něj svoji normu. Norma, která tuto problematiku řeší nese označení ČSN EN 13 480 [14].

Definice normy ČSN EN 13 480 je následující: „*Tato evropská norma určuje požadavky pro průmyslové potrubní systémy a podpěry, včetně bezpečnostních systémů z kovových materiálů s ohledem na zajištění bezpečnosti provozu. Tato evropská norma platí pro kovové potrubí nad zemí, v kanálech nebo v zemi bez ohledu na tlak.*“ [14]

Norma se skládá z osmi částí, které spolu vzájemně souvisejí a jsou neoddělitelné. Jednotlivé části normy jsou [14]:

- Část 1: Obecně,
- Část 2: Materiály,
- Část 3: Konstrukce a výpočet,
- Část 4: Výroba a montáž,
- Část 5: Zkoušení a kontrola,
- Část 6: Doplnkové požadavky na podzemní potrubí,
- Část 7: Návod na používání postupů posouzení shody,
- Část 8: Doplnující požadavky pro potrubí z hliníku a hliníkových slitin.

2.6.1 Norma ČSN EN 13 480-3

Tato norma je zaměřená na konstrukci a výpočet. V kapitole 13 jsou požadavky na podpěry. Nejsou zde však zahrnuty vlivy jako je koroze a eroze.

„Podpěrné elementy jsou taková zařízení, která spojují potrubí s okolní konstrukcí. Tyto elementy musí:

- Přenášet tíhu potrubí jakož i libovolného zařízení spojeného s potrubím,
- Ovládat pohyb potrubí,
- Usměrnovat a přenášet zatížení z potrubí do okolní konstrukce a obecně řešit nebo omezovat jeden nebo více ze šesti stupňů vlnosti v konkrétním bodě potrubí.“ [20]

V této normě existuje rozdělení do tří úrovní viz Tab. 2. Pokud potrubní systém má různé potrubní kategorie, ale má společné podpěry, musí podpěry být konstruovány podle požadavků přísnější třídy.

Tab. 2 Klasifikace podpěr [20].

Kategorie potrubí	Třída podpěry
III	S 3
II	S 2
0 a I	S 1

Všeobecně (13.3.1 v normě)

„Podpěry musí být konstruovány tak, aby splňovaly požadavky návrhu potrubí. Návrh podpěry musí být potvrzen výpočtem podle tohoto článku nebo typovou zkouškou (únosnost). Postup typové zkoušky musí odpovídat příloze J.

Je přípustné použít normalizovaných typů podpěr, jejichž konstrukce byla dříve ověřena výpočtem nebo zkoušením pro podmínky použití.

Konstruktor potrubí musí pro účely návrhu podpěr poskytnout správné údaje o zatížení a pohybech v navrhovaných místech podpěr.

POZNÁMKA 1 tyto údaje jsou normálně generovány prostředky pružnostní analýzy potrubí (viz 12.2.10).“ [20]

Pružnostní analýza potrubí zahrnuje tíhu potrubí s obvyklým médiem a tíhou izolace. Musí brát v potaz všechny další faktory, které jsou popsány v pružnostní analýze. Dále musí být konstruktérem potrubí zohledněn vliv pohybu potrubí, tření na zatížení a v neposlední řadě odklonění závěsných tyčí [20].

V případě, že jsou splněny požadavky, nepožaduje se poté žádná další podrobná analýza. V takovém případě stačí, aby konstruktor zajistil splnění všech následujících podmínek:

- Posuvy potrubí nesmí být výrazně měněny podpěrami,
- vertikální polohy o 4°,
- změny sil v podpěře by neměly překročit 25 % [20].

POZNÁMKA 2 Speciální úvahy mohou být nutné pro podpěry v blízkosti citlivých zařízení (např. točivých strojů) nebo tam, kde by potrubí působilo nepřipustným zatížením na připojené zařízení [20].

Veškeré návrhy podpěr by měly brát v úvahu všechny očekávaná vnější klimatická zatížení, jako je např. sníh, led a vítr. V takovém případě na potrubí působí vnější vlivy (vibrace, posuvy konstrukce, pohyby podloží, zemětřesení atd.). Zadavatel proto musí specifikovat veškeré vnější vlivy v objednávce a definovat příslušné charakteristiky pro jejich začlenění do návrhu podpěr [20].

Veškerá zatížení od hydrostatických zkoušek musí být zohledňována při návrhu podpěr a připojených konstrukcí. Konstrukce podpěr nesmí působit větším napětím a deformací, než je maximální dovolené napětí a deformace v jakémkoliv místě potrubní sítě. Dále musí být zohledněna teplotní dilatace a zatížení od tření. Bez souhlasu konstruktéra potrubní sítě, nesmí být měněno předpokládané zatížení ani pohyby [20].

Pokud jsou podpěry (tlumiče rázu, kloubové vzpěry) umístěny v cyklicky zatížené oblasti musí veškeré podpěry splňovat specifikovanou životnost konstrukce a také počet cyklů zatížení. Podpěry je nutné opatřit označením dle umístění, typu, identifikačním označením na izometrickém výkresu potrubí, plánu nebo dalšími jinými způsoby [20].

Veškeré nároky na údržbu by měly být specifikovány výrobcem a musí být určena všechna omezení životnosti [20].

2.6.2 Teplota izolovaných částí

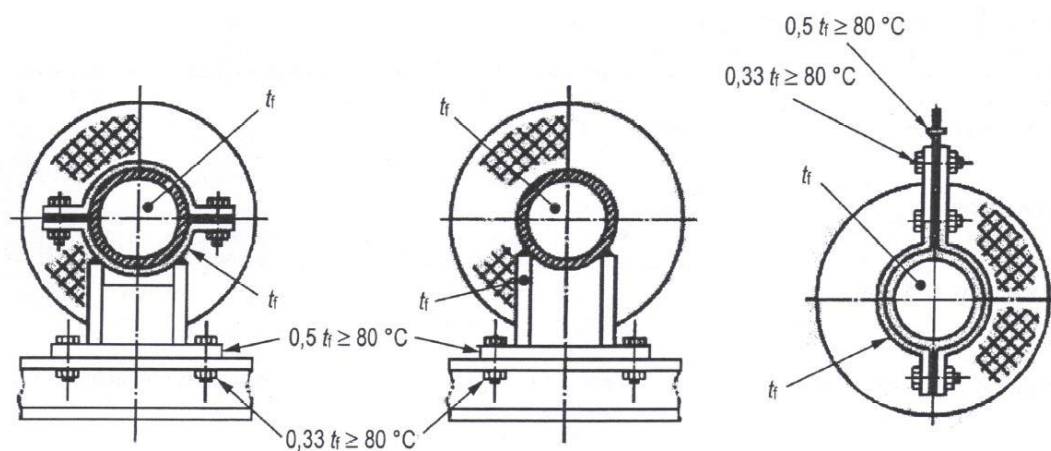
V normě ČSN EN 13 480-3 jsou uvedeny dvě tabulky teplot použité pro konstrukci. Viz Tab. 3 a Tab. 4. Obr. 11 znázorňuje průřez podpěrou včetně izolace a připevnění na nosnou konstrukci [20].

Tab. 3 Konstrukční teplota neizolované části [20].

Typ části	Teplota média v trubce t_f	Konstrukční teplota podpěry t
Části přímo spojené s trubicí	$> 80\text{ °C}$	$0,33\ t_f$ ale neméně než 80 °C
	$\leq 80\text{ °C}$	80 °C
Šrouby, svorníky, matice a čepy	$> 80\text{ °C}$	$0,33\ t_f$ ale neméně než 80 °C
	$\leq 80\text{ °C}$	80 °C

Tab. 4 Konstrukční teplota izolované části [20].

Typ části	Konstrukční teplota podpěry t
Části přímo přivařené k trubce, třmeni a svorky (tj. velká dotyková plocha)	t_f
Části bez přímého dotyku s trubicou	$t_f - 20\text{ °C}$
Šrouby, svorníky, matice a čepy	$t_f - 30\text{ °C}$



Obr. 11 Teploty podpěry uvnitř i vně izolace [20].

V této části normy, ČSN EN 13480-3, jsou uvedeny další pravidla a detaily konstruování podpěr a závěsů potrubních systémů. Je zde napsáno o stabilitě, vibracích, umístění podpěr a také je zde řešeno svařování podpěr.

3. Síly působící na potrubí

Každý projekt začíná u zkušeného projektanta, který navrhne, či zpracuje návrhovou část projektu. Mimo jiné by měl zvládnout eliminovat a předcházet možným problémům, které mohou při projektování nastat. V této práci se zaměřujeme na závěsy a podpěry potrubních systémů. Jak bylo zmíněno, na potrubní systémy působí několik druhů sil. V této části bude přiblíženo, jak a kde tyto informace o silách můžeme získat. Na projektování těchto tras potrubí existuje několik programů (např. Aveva PDMS nebo E3D). Tyto programy jsou inženýrským softwarem, který bohužel výpočet sil nepočítá. Jediné, co z nich lze získat, je PSI export (Pipe Stress Interface), jenž jde načíst do programů např. CAEPIPE nebo CAESAR II. Zde se dostáváme do problematiky tohoto odvětví. Samotné projekční programy jsou značně finančně nákladné a slouží k vytvoření potrubních tras. Pro výpočet je nutné využít dodatečný program a je jako u jiných softwarů podobného typu nezbytné plně porozumět principům výpočtu a možným úskalím při jejich využívání tak, aby mohl být plně využit potenciál těchto programů.

Kromě zmíněných programů CAEPIPE a CAESAR II je možné doplnit ještě dva zástupce. První se jmenuje Bentley Autopipe a druhý Rohr 2. Jako příklady v této práci bude ukázka z programu CAEPIPE a Bentley Autopipe.

3.1 Zadání

Každý potrubní výpočtový inženýr by měl dostat několik vstupních údajů o potrubní trase, kterou je potřeba analyzovat. Mezi důležité údaje patří:

- Výkres projektovaného potrubí/část potrubní trasy,
- průměr a tloušťka potrubí,
- tloušťka izolace potrubí,
- médium, které bude potrubním systémem proudit.

Dále bude zvolena norma, podle které bude potrubí analyzováno. Nejčastějšími normami jsou:

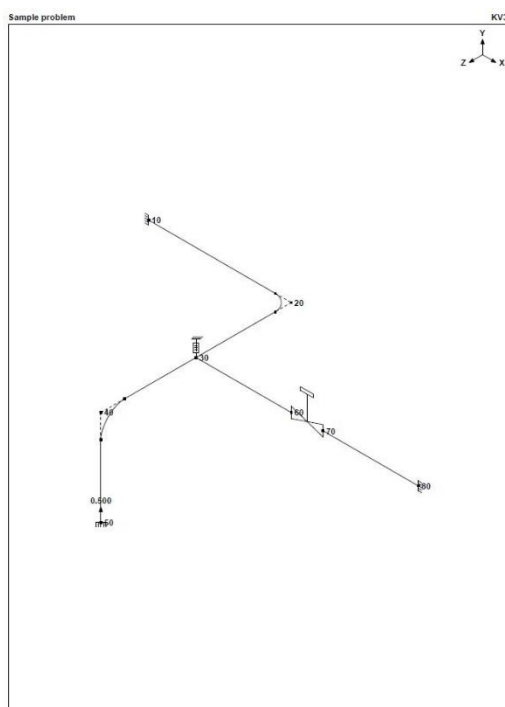
- EN 13480.3 (viz 2.6) [20],
- ASME B31.1 [21].

ASME B31.1 [21] (ASME - The American Society of Mechanical Engineers) je americká norma, která se zabývá potrubím. Zaměřuje se na procesní potrubí, která se vyskytují v chemickém, ropném či farmaceutickém průmyslu. Každá norma stanovuje požadavky na bezpečnost při konstrukci. ASME B31.1 [21] má bezpečnostní požadavek na konstrukci tlakového potrubí a používání potrubí v praxi. Těchto pravidel je třeba dbát a mít je na zřeteli. Norma dále zakazuje postupy a konstrukční řešení, jež jsou brány jako nebezpečné, zahrnuje i varování, kdyby se tato pravidla porušila. Například jde o stanovení teploty, tlaku a dovoleného napětí, které musí potrubí zvládnout. V úvahu se berou i vnější vlivy a vnější zatížení potrubí [21].

Dalším krokem inženýra je výpočet vlastní hmotnosti potrubního systému a určit, zda konstrukce vyhovuje. Počítá se zde i s provozní teplotou, která je důležitá z důvodu roztažnosti potrubního systému. Mezi další výpočty sil řadíme tzv. hydrotest. Hydrotest spočívá v naplnění potrubí vodou, díky kterému získáme maximální možné statické zatížení potrubí. Toto zatížení bývá velmi často vyšší než zatížení, kdy je potrubní systém v provozu. V těchto výpočetních programech se dá také simulovat vítr a seismické zatížení.

3.2 Výpočtový program CAEPIPE

V programu CAEPIPE je zde představena konstrukce krátké potrubní trasy s jedním závěsem, kterou můžete vidět na Obr. 12. Byly zde tři pevné body 10, 50 a 80 (kotevní stojan, výstup z nádrže, či výstup ze stěny továrny), v bodě 30 je závěs a mezi body 60 a 70 je armatura. V tomto programu se vytváří tento model „přírůstkovou“ metodou. Celé to probíhá v tabulce, kde vypisujeme jednotlivé údaje viz Tab. 5.

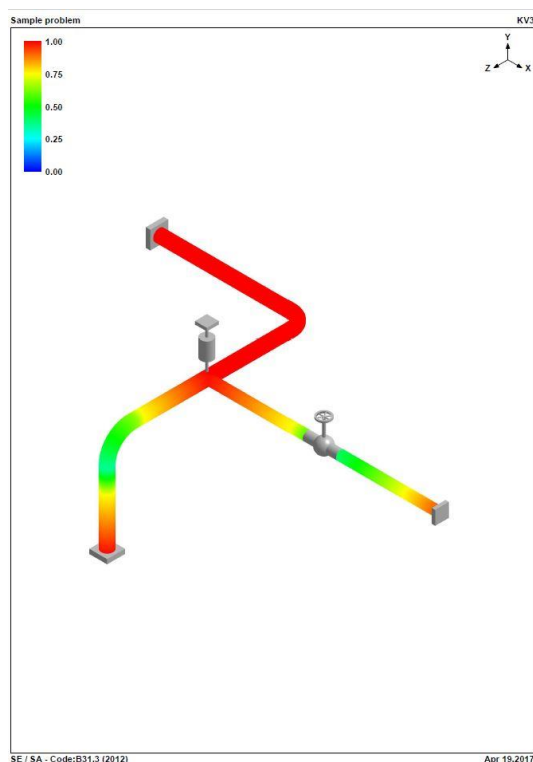


Obr. 12 Potrubní trasa v CAEPIPE.

Tab. 5 Vstupní údaje do programu CAEPIPE.

#	Node	Type	DX (ft'in")	DY (ft'in")	DZ (ft'in")	Matl	Sect	Load	Data
1	Title = Sample problem								
2	Hydrotest load: Spec. gravity = 1.0, Pressure = 300 (psi)								
3	10	From							Anchor
4	20	Bend	9'0"			A53	8	1	
5	30				6'0"	A53	8	1	Hanger
6	40	Bend			6'0"	A53	8	1	
7	50			-6'0"		A53	8	1	Anchor
8	6" std pipe								
9	30	From							
10	60		6'0"			A53	6	1	
11	70	Valve	2'0"			A53	6	1	
12	80		6'0"			A53	6	1	Anchor

Tato ukázka je provedena podle americké normy ASME B31.3 [21], z tohoto důvodu jsou v tabulce vidět délky v palcích. Počátek je zvolen v bodě 10. Bodu 10 lze přiřadit souřadnice, popřípadě bude začínat v počátku souřadného systému. U bodu 20 je vidět význam „přírůstkové“ metody. Zvolen je zde typ koleno (bend) a ve směru osy x je zvoleno 9 palců. (vzdálenost mezi bodem 10 a začátkem kolena bude 9 palců). Koleno je vybráno z knihovny programu. Když je v projektu navržena podpěra či závěs, tak je umisťován ve sloupci data. Zde je použit pevný bod (Anchor) a závěs (Hanger). Závěs byl použit od firmy Lisega, který je součástí knihovny programu. V tomto případě potrubní trasa nevyhovuje. Na Obr. 13 je vidět, kde se nachází problematická místa. Jedno z řešení jak tento příklad upravit, aby vše vycházelo dle normy, je nahrazení pevného bodu posuvnou podpěrou. Největší chybou je nemožnost posunutí bodů 10, 50 a 80. V tabulce 6 černé hodnoty překračují bezpečnost 1 (zde potřebujeme mít bezpečnost v rozmezí 0-1).

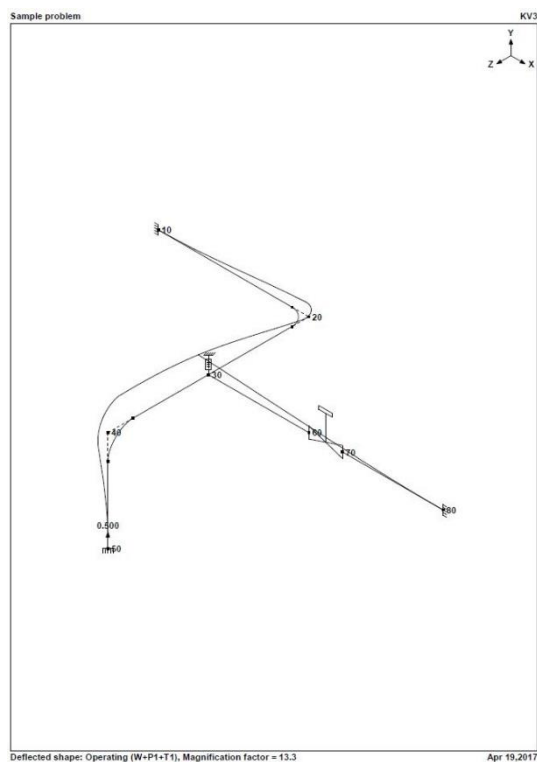


Obr. 13 Bezpečnost potrubí.

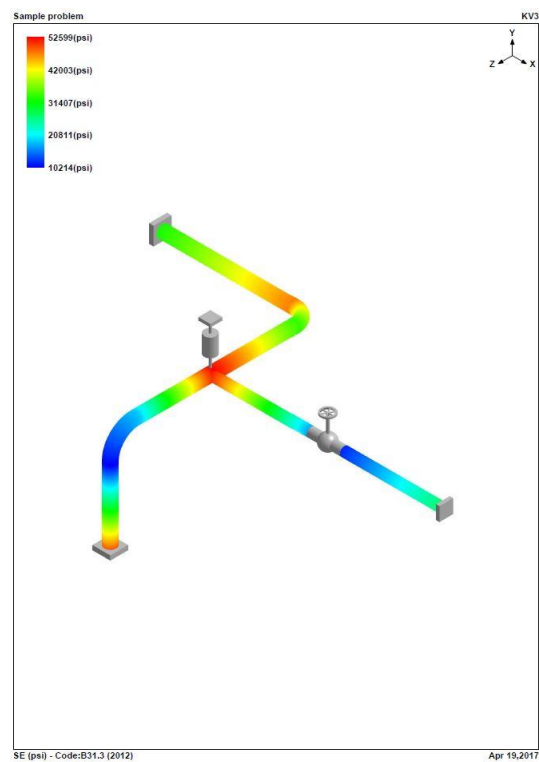
Tab. 6 Bezpečnost potrubí.

B31.3 (2012) Code compliance (Sorted stresses)							
Sustained				Expansion			
Node	SL (psi)	SH (psi)	SL SH	Node	SE (psi)	SA (psi)	SE SA
80	2448	17300	0.14	30	52599	29325	1.79
60	2167	17300	0.13	50	50203	29325	1.71
70	2112	17300	0.12	20A	47241	29325	1.61
30	2067	17300	0.12	20B	33471	29325	1.14
10	1346	17300	0.08	10	32036	29325	1.09
40B	1076	17300	0.06	80	27013	29325	0.92
20B	979	17300	0.06	40A	18702	29325	0.64
20A	952	17300	0.06	60	17386	29325	0.59
50	940	17300	0.05	70	11777	29325	0.40
40A	904	17300	0.05	40B	10214	29325	0.35
B31.3 (2012) Code Compliance							
Node	Press. Allow. (psi)	Sustained			Expansion		
		SL (psi)	SH (psi)	SL SH	SE (psi)	SA (psi)	SE SA
10	200	1346	17300	0.08	32036	29325	1.09
20A	2006	944	17300	0.05	28055	29325	0.96
20A	200	952	17300	0.06	47241	29325	1.61
20B	2006	979	17300	0.06	33471	29325	1.14
20B	200	966	17300	0.06	19615	29325	0.67
30	2006	1819	17300	0.11	52599	29325	1.79
30	200	1811	17300	0.10	47280	29325	1.61
40A	2006	904	17300	0.05	15747	29325	0.54
40A	200	904	17300	0.05	18702	29325	0.64
40B	2006	1076	17300	0.06	10214	29325	0.35
40B	200	1076	17300	0.06	9193	29325	0.31
50	2006	940	17300	0.05	50203	29325	1.71
30	200	2067	17300	0.12	37228	29325	1.27
60	1462	2167	17300	0.13	17386	29325	0.59
70	200	2112	17300	0.12	11777	29325	0.40
80	1462	2448	17300	0.14	27013	29325	0.92

Dalším výstupem programu CAEPIPE je Obr. 14, kde je vyobrazená deformace potrubí v křivce. Na Obr. 15 můžeme vidět, kde je tlak na potrubí největší - v místě tvarovky. Tlak je zde v jednotkách PSI (anglosaská jednotka tlaku, definovaná jako síla libry na čtvereční palec) [22]. V CAEPIPE je možnost počítat i s vnějšími vlivy. Můžeme zde volit až čtyři směry větru a možnost počítání seismicity. Tu využijeme, pokud se projektovaný systém potrubí bude konstruovat v seizmicky neklidné oblasti, či na přání zákazníka.



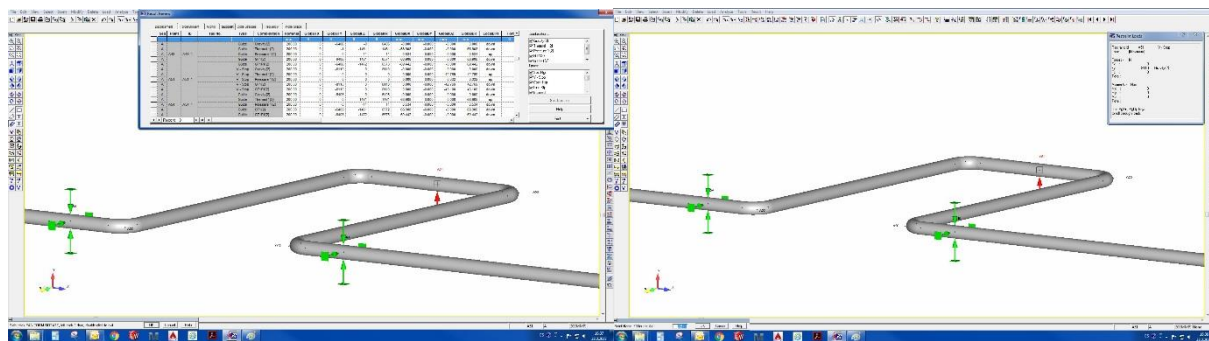
Obr. 14 Deformace potrubí.



Obr. 15 Nejvyšší tlak.

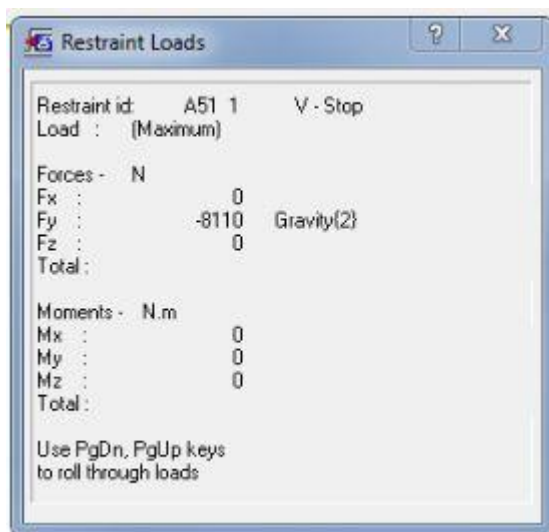
3.3 Program Bentley Autopipe

Výhodou programu Bentley Autopipe je možnost okamžitého zhlédnutí zatížení na jednotlivé podpěry či závěsy potrubního systému. Na Obr. 16 je vidět část potrubí s podpěrami A48, A51 a A54. Podpěry A48 a A54 jsou podpěry omezující směr v ose z a v ose y. Podpěra A51 omezuje směr pouze ve směru osy y. V tabulce, v pravém horním rohu, máme několik typů zatížení a jsou zde i posuvy potrubí. Na obr. 17 je detail na podpěru A51, kde v horní tabulce Obr. 18, můžeme vidět zatížení jen v ose y: $F_y = -8110\text{N}$. Dále je zde „Gravity {2}“. To nám říká, že je to síla způsobená váhou potrubního systému.



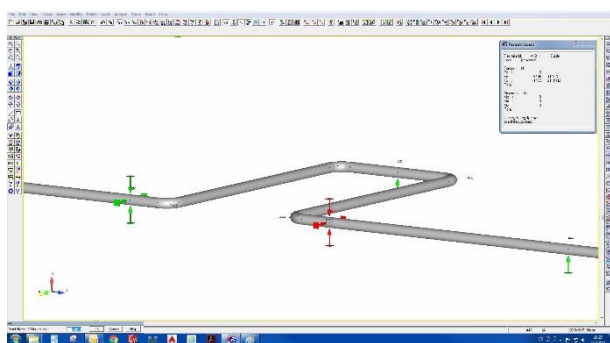
Obr. 16 Tabulka působících sil a posuvů na podpěry A48, A51 a A54.

Obr. 17 Podpěra A51.



Obr. 18 Detail tabulky z obr. 17.

Na Obr. 19 je vidět podpěra, která má omezení v osách y a z. Zde jsou síly $F_y = -6406\text{N}$ a $F_z = -1472$, které jsou na zvětšeném detailu tabulky Obr. 20. V tabulce u síly F_y je zkratka „GT1{2}”, která nám říká, že nejvyšší síla je zaznamenána při součtu gravitační síly a při teplotě provozu. U síly F_z (GT1P1{2}) se k tomu ještě připočítává tlak. Na obrázcích je vidět kompletní prostředí programu. Zde se do tabulky jednotlivé příkazy nevypisují, ale vybírají se z tlačítek na boku.



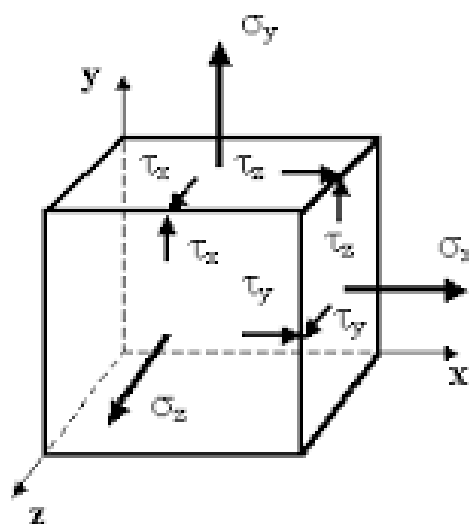
Obr. 19 podpěra A48.

Restraint Loads			
Restraint id:	A48 1	Guide	
Load :	(Maximum)		
Forces -	N		
Fx :	0		
Fy :	-6406	GT1{2}	
Fz :	-1472	GT1P1{2}	
Total :			
Moments -	N.m		
Mx :	0		
My :	0		
Mz :	0		
Total :			
Use PgDn, PgUp keys to roll through loads			

Obr. 20 Detail na tabulku v obr. 19.

4. Napjatost

Vzhledem k tomu, že námi analyzovaný závěs bude zatížen silou od potrubí a teplotou, je zde v krátkosti představena kapitola o obecné napjatosti. Mechanickým napětím je myšlen stav v tělese, který vzniká, pokud na něj působí účinky sil. V určitém bodu tělesa, je napjatost dána třemi smykovými a normálovými napětími a šesti složkami napětí. Pro snadnější představu je zde Obr. 21 [23].



Obr.21 Napjatost v bodě [24]

Obecně se dá říci, že kterákoli napjatost je trojosá, pouze pro speciální polohu elementárního hranolku lze nahlížet, jako na napjatost jedno osou či dvoj osou. Ve dvou vzájemně kolmých rovinách jsou do velikosti smyková napětí stejná a vždy působí od či do společné hrany. Tento fakt shrnujeme do zákona o sdružených smykových napětích. Patří mezi základní zákony teorie o pružnosti [23].

Jedním z možných kritérií pevnosti jsou kritéria Mises a Tresca. Tyto kritéria platí pro houževnatý materiál [25].

Kritérium Mises:

Představuje kritickou hodnotu distorzní energie uložené v izotropním materiálu [25].

$$\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \leq T^2$$

Rovnice kritéria Mises [25].

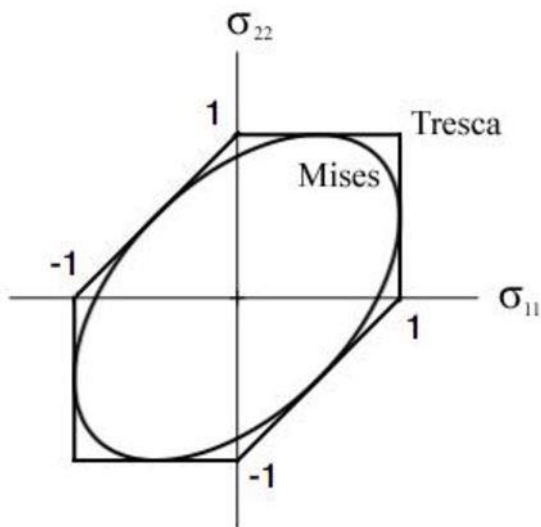
Kritérium Tresca:

Je kritickou hodnotou maximálního střížného napětí v izotropním materiálu [25].

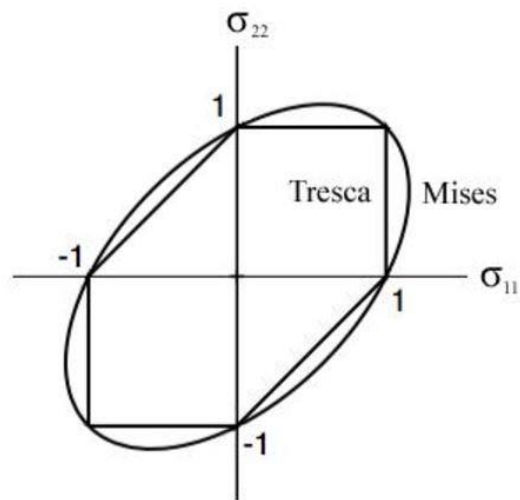
$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \leq S$$

Rovnice kritéria Tresca [25].

Obě kritéria jsou formy jednoho parametru. Jsou specifikované jednostrannou pevností v tahu T nebo pevností ve smyku S. Na Obr. 22 a 23 můžete vidět tyto dva případy. Maximální rozdíl mezi těmito přístupy může nabývat hodnoty 14,4 % [19].



Obr. 22 Kalibrace na S [25].

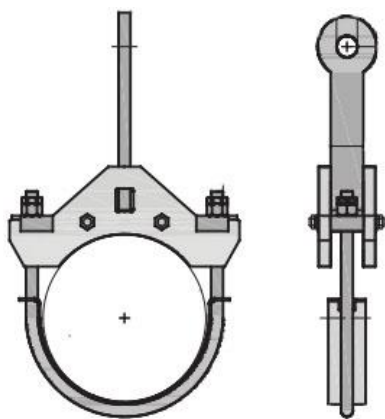


Obr. 23 Kalibrace na T [25].

5. Pevnostní návrh závěsu s nestandardními rozměry

V této bakalářské práci byl analyzován závěs nestandardních rozměrů od firmy MPS Grador. Jedná se o třmen konstrukčního typu 731, který můžete vidět na Obr. 24. Třmen se skládá z osmi hlavních částí. Na Obr. 25 je vidět jedno z menších katalogových provedení DN 250.

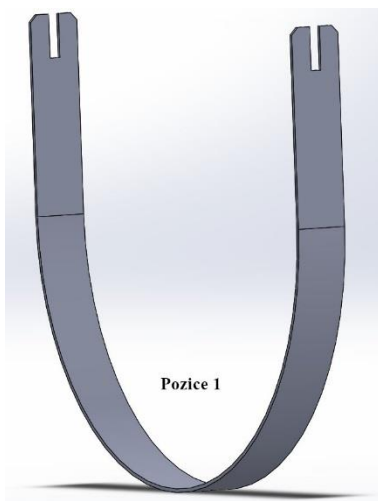
Na Obr. 26 a 27 jsou vidět součásti vymodelovaného závěsu 731 v programu Solidworks 2016. Tento závěs je konstruován na potrubí DN1400. To odpovídá zhruba průměru 1422 mm. Hmotnost závěsu je 318,6 kg. Tento závěs byl, dle zadání zákazníka, konstruován na teplotu 380°C a zatížení bylo stanoveno při provozních podmínkách na 30 kN.



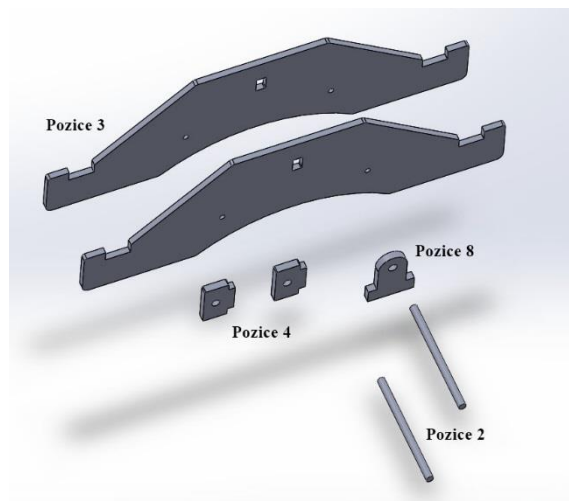
Obr. 24 Typ MPS Grador 731.



Obr. 25 Třmen 731 DN250.



Obr. 26 Pozice 1.



Obr. 27 Pozice 2,3,4 a 8.

5.1 Vstupní parametry pro analýzu závěsu

Typ závěsu 731, DN 1400

Zatížení $F_y = -30$ kN

Teplota = 380°C

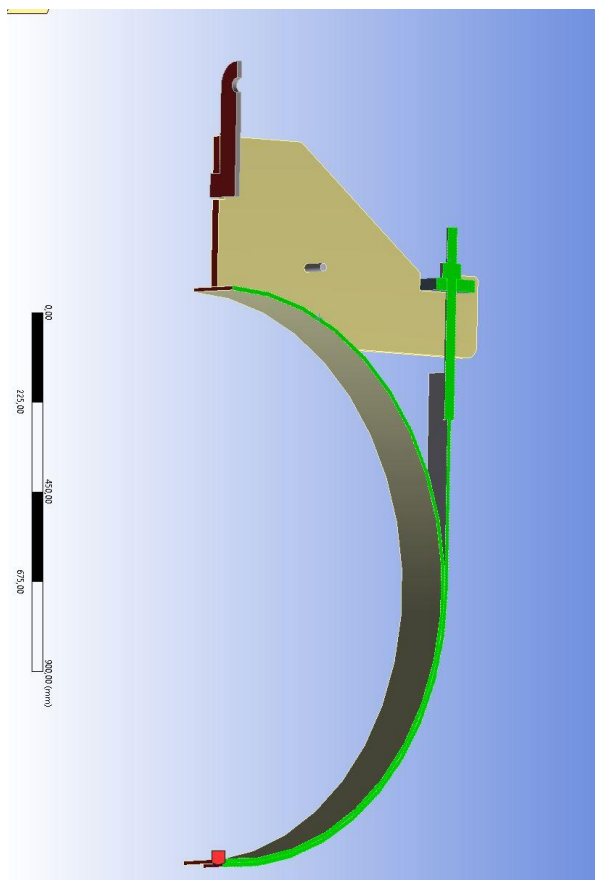
Tloušťka izolace = 220 mm

5.2 Analýza závěsu

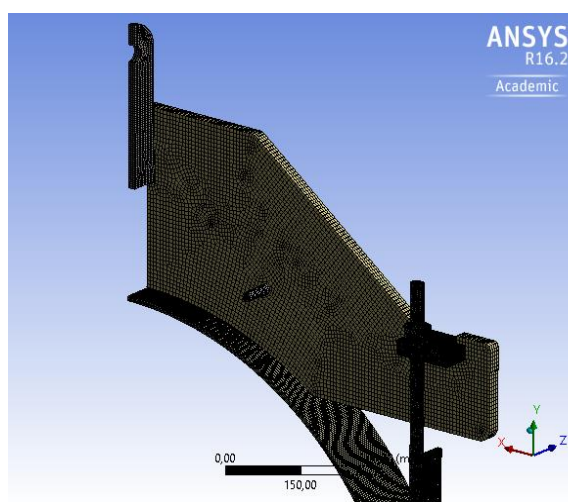
Tento závěs byl analyzován ve výpočtovém programu Ansys Workbench 16.2. Analýza probíhala jako statická strukturní úloha. Uvažováno bylo pouze se statickým zatížením potrubí. Dynamické účinky na potrubí nebyly do výpočtu zahrnuty. Bylo zde počítáno se statickým zatížením 30 kN. Pro zjednodušení výpočtu byl samotný model rozdělen dvěma rovinami symetrie. Viz Obr. 28. Analýza byla provedena jak se zohledněním teplotního zatížení, tak i bez něj. Výsledné napětí, v celku závěsu, bylo při zahrnutí teplotní okrajové podmínky ovlivněno, a to v určitých případech neobjektivně. Při zadání fixní vazby (Symbol B, Obr. 31) docházelo k velmi vysokým napětím v místě uchycení, neboť model při zadání fixní vazby nepopisuje s dostatečnou vypovídající hodnotou zkoumanou skutečnost. Obdobný případ nastal také v místě styku potrubí s třmenem (Obr. 39).

Na základě rozboru charakteru modelu a vlivu teplotního zatížení na odezvu modelu byla zvolena varianta výpočtu, kdy teplotní zatížení nebylo v následujících analýzách zahrnuto přímo. Vliv teplotního zatížení byl pak pro vyhodnocení přípustnosti modelu zahrnut formou snížení hodnoty meze kluzu materiálu jako teplotní závislost a bylo provedeno posouzení bezpečnosti.

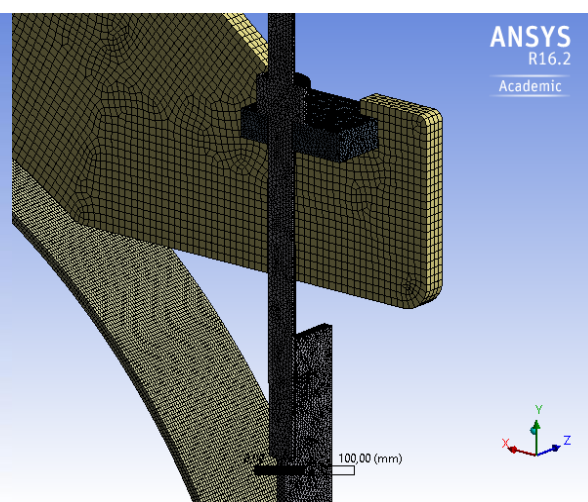
Pro zjednodušení výpočtu byl samotný model rozdělen dvěma rovinami symetrie. Viz Obr. 28. Tento způsob značně zkrátil samotné počítání programu a umožnil zdokonalit síť na modelu (Obr. 29). Na Obr. 30 je vidět detailně místo se šroubem (pozice 2), maticí a pozicí 8.



Obr. 28 Čtvrtinový řez modelu závěsu 731 (roviny symetrie jsou znázorněny zelenou a červenou barvou).



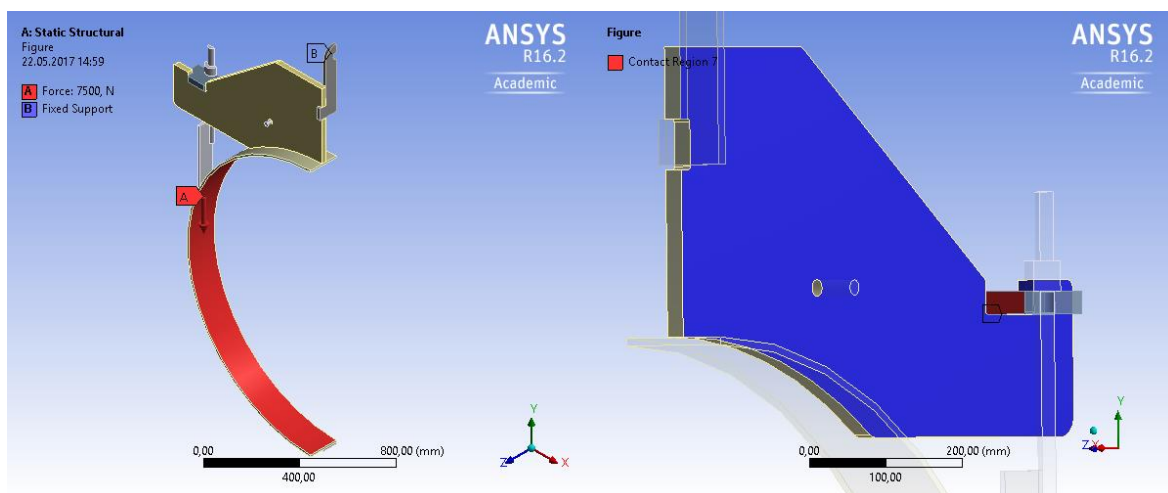
Obr. 29 Síť na analyzovaném modelu.



Obr 30 Detail na síť v oblasti šroubu.

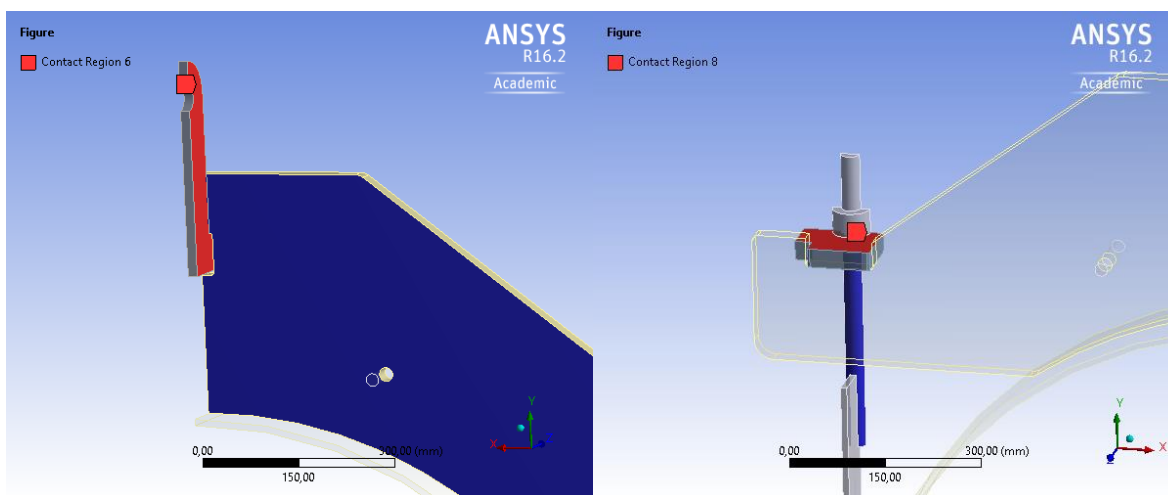
5.3 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky, jsou zobrazeny na následujících obrázcích. Na Obr. 31 jsou vidět okrajové podmínky výpočtu. Symbol A na Obr. 31 nám znázorňuje sílu v záporném směru osy y. Vzhledem k tomu, že byl zvolen čtvrtinový model, je zde hodnota 7500 N. Symbol B nám znázorňuje pevný bod v místě čepu závěsu 731. Mezi třmenem a potrubím byla zvolena vazba bonded (spojené). Stejná vazba byla nastavena u Obr. 32, 33 a 34.



Obr. 31 Zvolené zatížení a uchycení modelu.

Obr. 32 Okrajová podmínka mezi pozicí 3 a 4. (bonded).



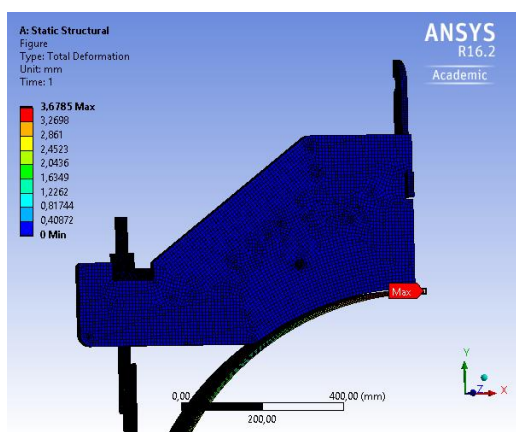
Obr. 33 Okrajová podmínka mezi pozicí 3 a 8. (bonded).

Obr. 34 Okrajová podmínka mezi pozicí 1 a 8. (bonded).

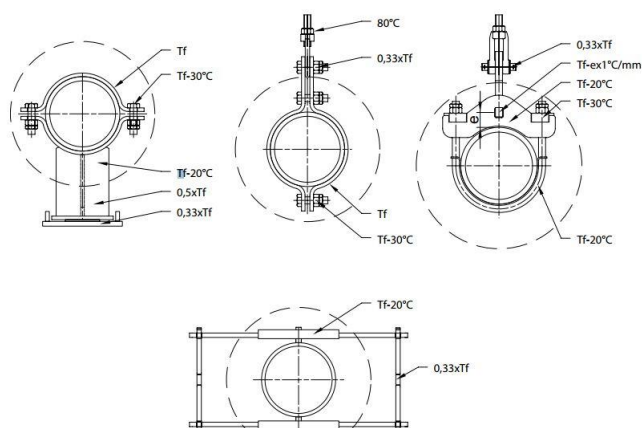
5.4 Vypočtené zatížení modelu

Na modelu je vidět i část potrubí, která byla vymodelována z důvodu zjištění celkové deformace analyzovaného modelu. Hodnotu můžete vidět na Obr. 33 a z analýzy má hodnotu 3,6785 mm. Nachází se na vrcholu potrubí. Místo je označeno - max.

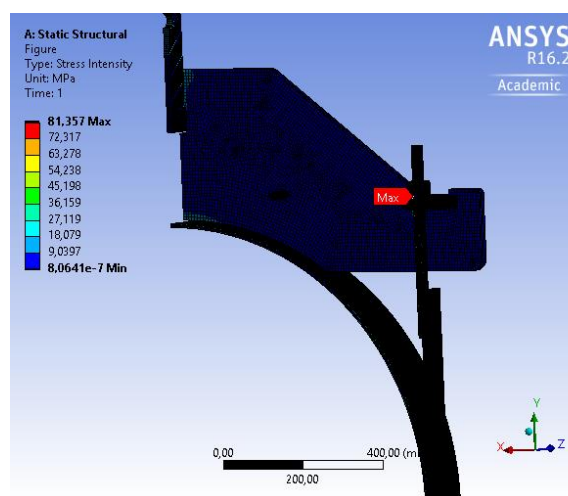
Analýza nám ukázala místo s nejvyšším napětím na tomto závěsu - v místě závitů na ostré hraně u přechodu dvou válcových částí šroubu (Obr. 35, detail Obr. 36), kde je dotažená matice. Díky teplotnímu gradientu, s kterým zde nepočítáme, již zde není teplota přepřavovaného média 380°C. Je zde teplota 350°C, která vychází z Obr. 34. Zde je vidět závěs stejné konstrukce (vpravo nahoře), kde je dáno, že v oblasti šroubu je teplota o 30°C nižší.



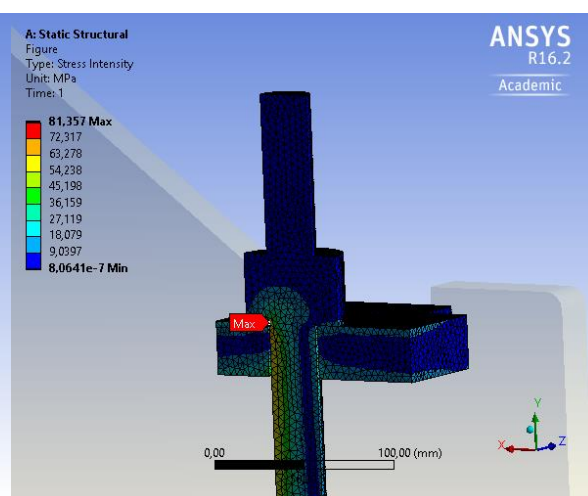
Obr. 33 Detail na maximální deformaci závěsu.



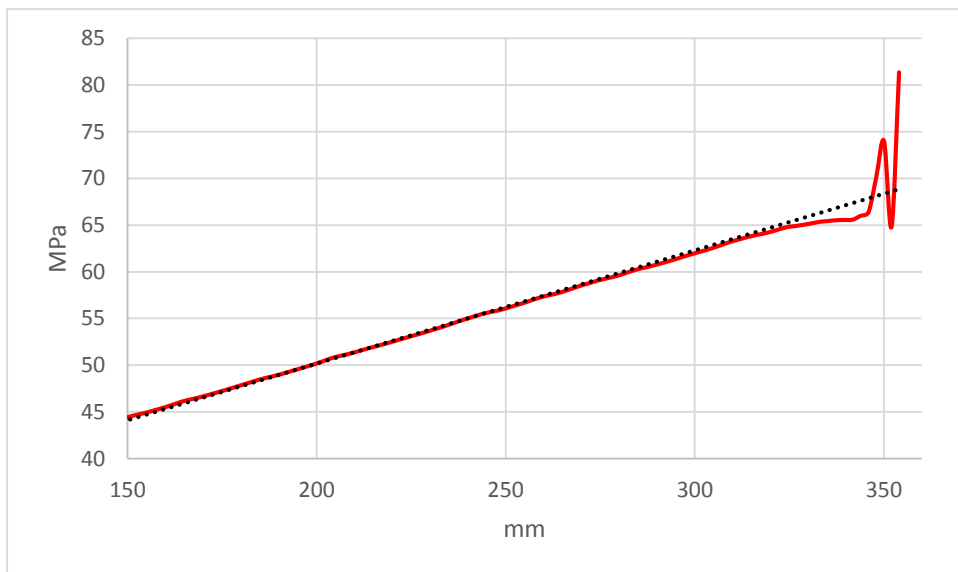
Obr. 34 Teplota pro šroub [26].



Obr 35 Pozice 2.



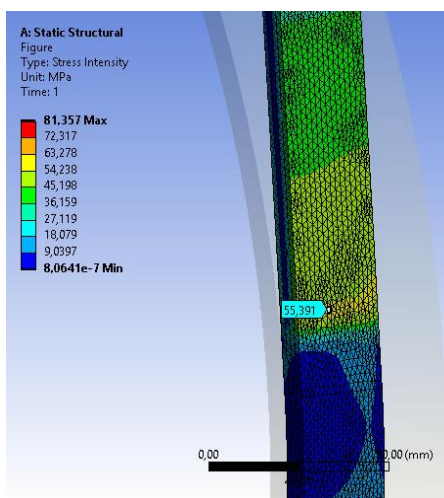
Obr. 36 Pozice 2 detail.



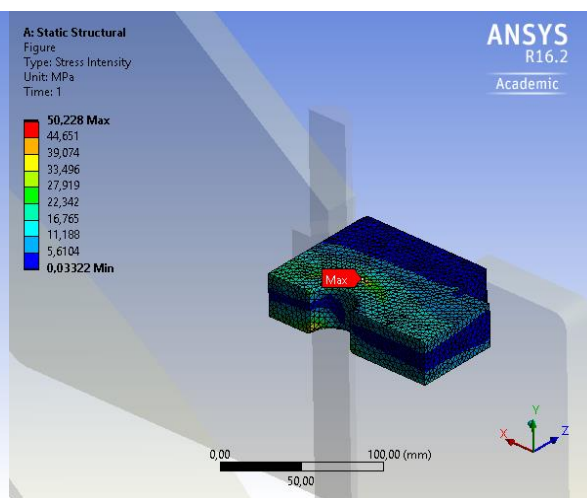
Obr. 37 Graf (Ansys) průběh napětí na šroubu.

Na Obr. 37 je vidět graf průběhu napětí po délce šroubu. Červeně jsou značena data z Ansys Workbench a tečkovaná přímka nám představuje proloženou přímku získanými daty. Rozkmit je zde díky konstrukční diskontinuitě. Vyhodnocení je provedeno extrapolací lineární části. Z grafu lze odečíst vyhodnocované napětí ve šroubu, které bude odpovídat hodnotě 69 MPa.

Kromě maximální hodnoty napětí ve šroubu se analyzovalo i maximální napětí v dalších dílech modelu. Obr. 40 nám ukazuje napětí v třmenu (pozice 1). Zde z důvodu teploty 380°C je $R_{p0,2} = 165,4 \text{ MPa}$ (v tabulce 7 jsou hodnoty pro 350°C a 400°C, hodnota



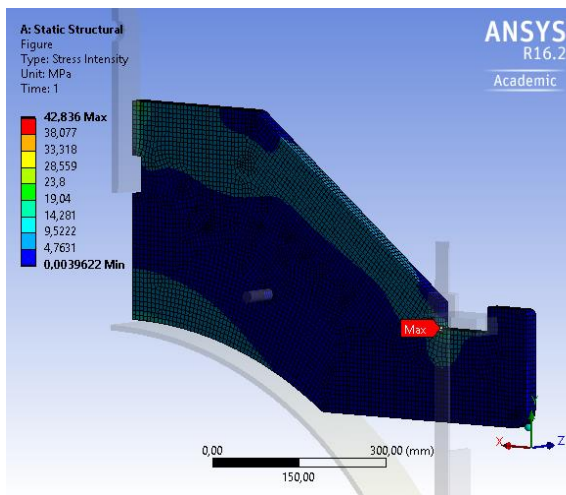
Obr. 38 Pozice 1 a 2.



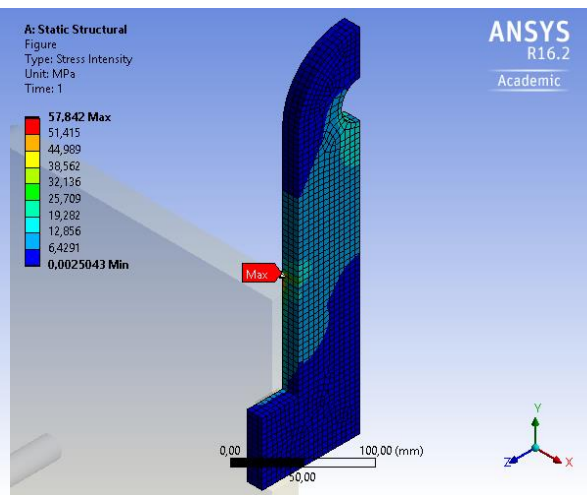
Obr. 39 Pozice 4.

pro 380°C byla zjištěna lineární interpolací těchto dvou známých hodnot). Pro tloušťku ($16 < t \leq 40$) a teplotu 380°C je hodnota 162,4 MPa. Pozice 4 je na Obr. 39.

Na Obr. 40 je vidět místo s maximálním zatížením na pozici 3. Na Obr. 41 je vidět napětí pozice 8. Z Obr. 34 si určíme, že je zde teplota 125,4 °C. A z tabulky 7 dostaneme $R_{p0,2} = 252$ MPa.



Obr. 40 Pozice 3



Obr. 41 Pozice 8

Tab. 7 Minimální hodnoty meze kluzu $R_{p0,2}$ při zvýšených teplotách [27].

Značka oceli	Tloušťka výrobku t mm	Mez kluzu $R_{p0,2}$ při teplotě (°C)									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
		MPa min.									
16Mo3	≤ 16	273	264	250	233	213	194	175	159	147	141
	$16 < t \leq 40$	268	259	245	228	209	190	172	156	145	139
	$40 < t \leq 60$	258	250	236	220	202	183	165	150	139	134
	$60 < t \leq 100$	238	230	218	203	186	169	153	139	129	123
	$100 < t \leq 150$	218	211	200	186	171	155	140	127	118	113
	$150 < t \leq 250$	208	202	191	178	163	148	134	121	113	108

5.5 Bezpečnost

U závěsů, dle vnitřních nařízení firmy MPS Grador, se uvažuje bezpečnost 4-5. Vzhledem k dané teplotě je zvolena bezpečnost 4. Tato vysoká bezpečnost je zde kvůli eliminaci dynamických vlivů. Tyto výpočty by mohly být spočteny, ale jednalo by se o velmi náročnou a cenově nákladnou operaci.

Bezpečnost byla počítána dvěma způsoby. Prvním způsobem byl výpočet bezpečnosti ve šroubu analytickou metodou. Tato metoda není ovlivněna singularitami tak jako výpočet MKP. Nevýhodou je ovšem možné zanedbání přidavných ohybových a sekundárních napětí od teploty (v této úloze mají malý vliv).

Druhým způsobem je numerická metoda MKP. Bezpečnost byla spočtena jako podíl hodnoty meze kluzu při dané teplotě (tabulka 7) a získaného napětí (Tresca). Výsledky byly sepsány do tabulky 8.

Rovnice bezpečnosti (MKP):

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{nam}} \quad (5.1)$$

Tab. 8 Bezpečnost dalších pozic závěsu.

Pozice	Získané napětí [MPa]	Maximální hodnota meze kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Bezpečnost (MKP) [-]
1	55,391	165,4 ($t=380^{\circ}\text{C}$, $t \leq 16$)	2,99
3	42,836	162,4 ($t=380^{\circ}\text{C}$, $16 < t \leq 40$)	3,79
4	50,228	172 ($t=350^{\circ}\text{C}$, $16 < t \leq 40$)	3,42
8	57,842	252 ($t=125^{\circ}\text{C}$, $16 < t \leq 40$)	4,36

Místo s nejvyšším napětím (Obr. 36), se ověřovalo analyticky. Metodou maximálního zatížení šroubu. Známe zde závit M30 a stoupání 3,5mm. Hodnotu meze kluzu: $R_{p0,2}(T=350^{\circ}\text{C}) = 172\text{MPa}$ (viz Tabulka 7).

Výpočet bezpečnosti ve šroubu:

$$d_a = 30 - 7 = 23 \text{ mm} \quad (5.2)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} = 415,48 \text{ mm}^2 \quad (5.3)$$

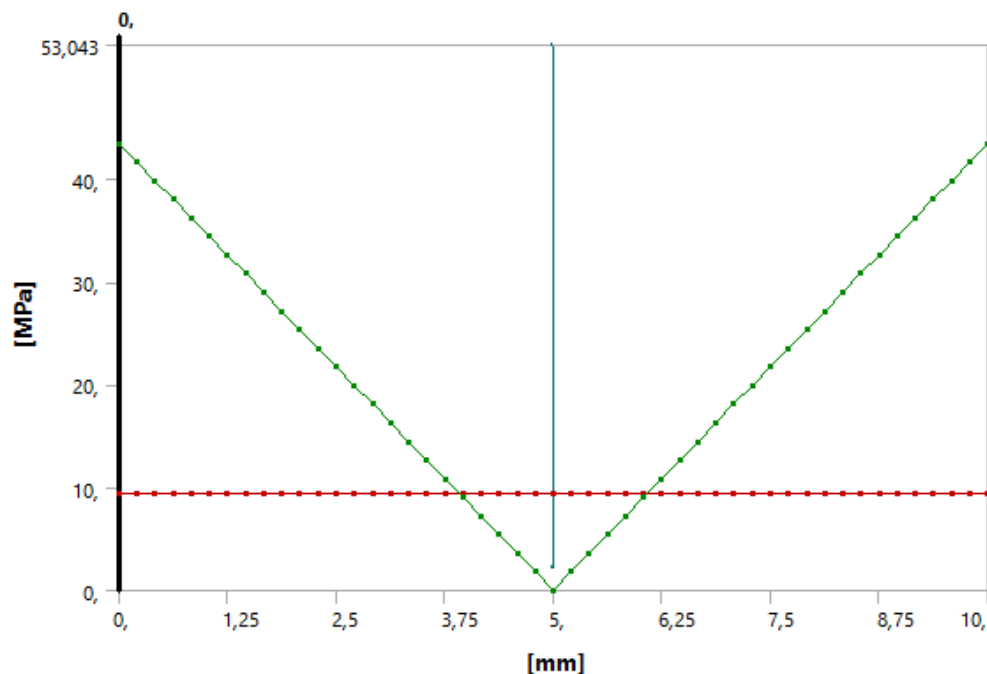
$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{15000}{415,48} = 36,1 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

$$\sigma = 36,1 \cdot 4 = 144,41 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma} = 1,19 \quad (5.6)$$

Na základě průmyslové praxe se, z důvodu charakteru geometrie (závit), napětí násobí koeficientem 4 pro dosažení konzervativního výsledku.

Další kritické místo je ve zvoleném místě (Obr. 40). Na Obr. 42 je vidět průběh grafu působící složky napětí. Jak membránové, tak i napětí ohybové.



Obr. 42 Graf (Ansys) znázorňuje membránové (červeně) a ohybové (zeleně) napětí.

Vypočtením bezpečnosti se dostane bezpečnost 3. Bezpečnost je počítána k mezi kluzu. Jako napětí jsou brány špičky naměřených dat (součty ohybových a membránových napětí).

Na Obr. 42 je vidět, že napětí klesá až k hodnotě nula (střed průřezu). Celé napětí je v kladných číslech z důvodu využití metody stanovení redukovaných napětí. Počítá se zde s kritériem Tresca, které nám výsledné napětí udává v absolutní hodnotě.

Vypočtená hodnota bezpečnosti 3 je relativně nízká (konstrukce se navrhuje na bezpečnost 4). Zde je ale důležité, aby byla zvažena také nebezpečnost jednotlivých typů působících napětí. Pro určení bezpečnosti, z maximálního působícího napětí, zde hrálo významnou roli ohybové napětí působící na povrchu, které po průřezu rychle klesá. Pokud by v extrémních případech docházelo k plastičnosti průřezu, je zde stále relativně velká rezerva. Proto bylo stanoveno, že v tomto případě je pro návrh bezpečnost 3 vyhovující.

Pro ověření únosnosti třmenu by při zjednodušení analýzy (bez přídavných ohybových napětí a sekundárních teplotních napětí) bylo možno určit napětí a bezpečnost následovně:

$$S = 10 \cdot 150 = 1500 \text{ mm}^2 \quad (5.7)$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{15000}{1500} = 10 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma} = 16,5 \quad (5.9)$$

5.6 Fotografie z výroby

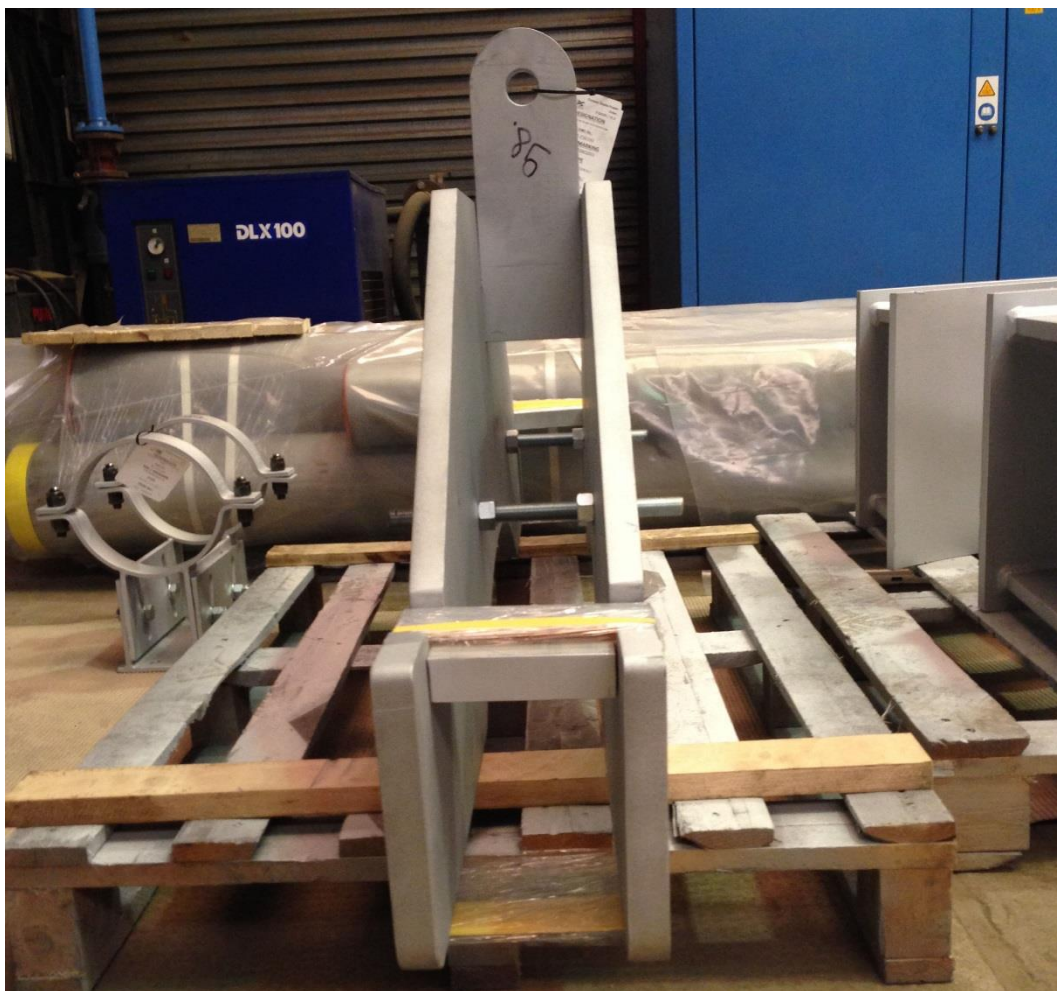
Na následujících stranách budou prezentovány fotografie z výroby závěsu 731. Na Obr. 43 je vidět výpalek pozice 3. Obr. 44, 45 a 46 nám ukazuje sestavený závěs 731 bez třmenu. Ten je k vidění na Obr. 47. Poslední dva Obr. 48 a 49 nám ukazují detail spojení jednotlivých pozic závěsů.



Obr. 43 Pozice 3, po vypálení na paličce.



Obr. 44 Sestavený závěs 731.



Obr. 45 Závěs 731.



Obr. 46 Závěs 731.



Obr. 47 Detail pozice 1.



Obr. 48 Detail na spojovací závitovou tyč.

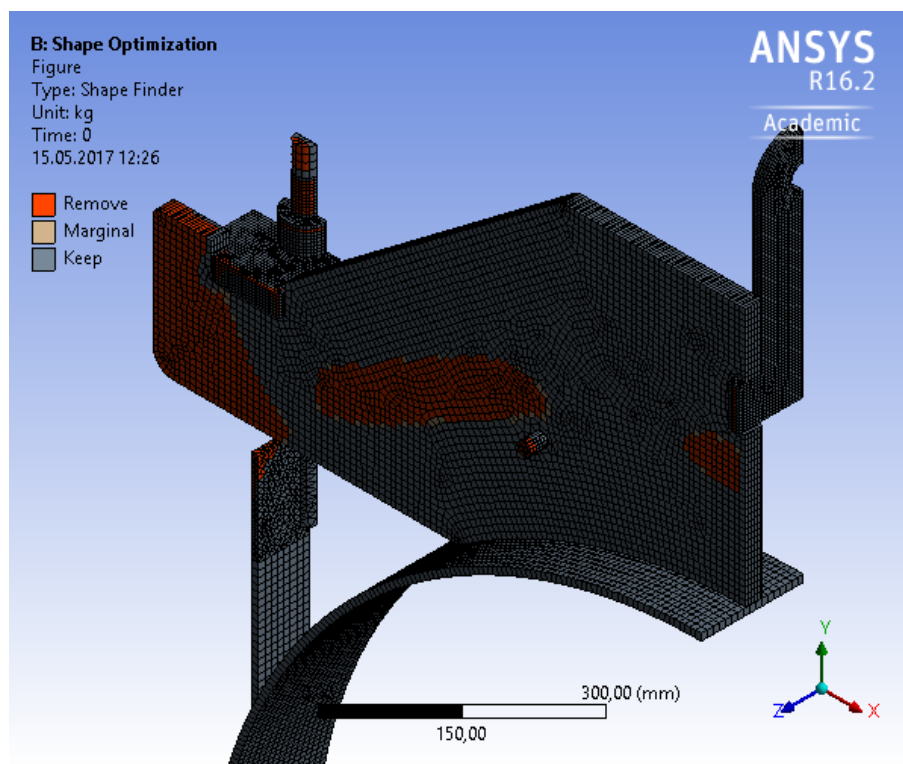


Obr. 49 Detail spojení pozice 3 a 8

6. Možnost pokračování v diplomové práci

Z analyzovaných dat a výsledků z programu Ansys Workbench můžeme usoudit, že je zde několik možností ke zlepšení. Zejména pokud by se jednalo o hmotnost závěsu. Provedl se experiment pomocí programu Ansys Workbench, a to konkrétně metodou tvarové optimalizace (Shape optimization). Jedná se o beta verzi programu, ale je již několik způsobů popřípadě funkcí, které jsou ve vývoji a v budoucnu by mohly zajistit kvalitnější a ekonomičtější návrh. Na Obr. 50 je červeně zvýrazněn objem, který je možno odebrat. Pro představu, ušetřením 10% materiálu se odlehčí závěs o více než 30 kg.

Je zde třeba zdůraznit i několik věcí, které v této práci řešeny nebyly. Pro provedení detailní analýzy by bylo nezbytné nastavit okrajové podmínky s využitím odpovídajícího typu kontaktních sad, a také se zohledněním nerovnoměrného teplotního pole (i se zohledněním vlivu izolace potrubí). Dále je nutné počítat s vnějšími aspekty zmíněnými v kapitole 3. Například vítr, sníh, popřípadě led, pokud by umístění bylo v chladných oblastech. Také je potřeba počítat s únavou materiálu. Až by byly zahrnuty všechny tyto aspekty, můžeme začít analyzovat ušetření materiálu. Značnou motivací by bylo zlevnění takového závěsu, či ušetření prostředků za dopravu na místo stavby potrubního systému. Další motivací je také konstrukčně zlepšit místa s nejvyšším napětím pro zaručení vyšší bezpečnosti.



Obr. 50 Ušetření 10% materiálu.

7. Závěr

Úvodem byla definována a popsána funkce uložení potrubí a bylo řečeno, jakou úlohu přitom mají podpěry a závěsy potrubí. Postupně jsou zde vysvětleny a popsány jednotlivé druhy závěsů a podpěr, části potrubních celků. Popisují se zde zásady izolování potrubí a důvod korozivního přídatku. Vzhledem k tomu, že konstrukce závěsů spadá pod normu ČSN EN 13480 [20], je zde i kapitola, která tuto normu charakterizuje.

V další kapitole je zpracována a vysvětlena problematika sil v uložení potrubí. Jsou zde představeny výpočtové programy, které tyto síly umějí spočítat a jsou zde i dva příklady konkrétních potrubních systémů. V programu CAEPIPE je představena krátká ukázka návrhu potrubní sítě. Program Bentley Autopipe je zde představen hlavně schematicky.

Hlavní část této bakalářské práce je analýza závěsu s nestandardními rozměry. Jedná se o jedno třmený závěs, který byl konstruován na průměr potrubí DN 1400. Geometrie nového závěsu typologicky navazuje na předchozí řady modelu 731. Model závěsu byl vytvořen v programu Solidworks a posléze byla provedena statická analýza v programu Ansys Workbench. Z programu ansys byly získány hodnoty působících napětí, které byly dále porovnány s mezí pevností kluzu použitého materiálu. Na základě těchto hodnot byla stanovena bezpečnost jednotlivých částí.

Práce je ukončena náměty pro další možné pokračování v práci. Jedná se především o kompletní zpracování dynamických sil a vnějších zatížení na závěs. Je zde i zmíněna možnost tvarové optimalizace a s tím spojená možnost ušetření hmotnosti materiálu. Díky tomu můžeme docílit i ekonomické úspory.

8. Seznam použitých zdrojů

- [1] Historie vodního stavitelství [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 17.03.2017]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Historie.pdf
- [2] Web Čína [online]. Copyright © [cit. 16.03.2017]. Dostupné z: <http://cina.yin.cz/clanky/vrtne-soupravy-stare-ciny/>
- [3] Obecné technické informace, funkce uložení potrubí [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 17.03.2017]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/5638085-Obecne-technicke-informace-funkce-ulozeni-potrubu.html>
- [4] Download catalogues: LISEGA Standard Supports 2020 EN. LISEGA Halterungstechnik | Leistung mit System [online]. Copyright © LISEGA SE 2017 [cit. 20.03.2017]. Dostupné z: <http://www.lisega.de/en/downloads-en/catalog/lisega-standard-supports-2020-en/>
- [5] MPS Gradior s.r.o. | MPS Gradior s.r.o. [online]. Copyright © [cit. 01.03.2017]. Dostupné z: http://www.mps-gradior.cz/uploads/download/id49/mps-katalog_gradior-CZ-kapA.pdf
- [6] MPS Gradior s.r.o. | MPS Gradior s.r.o. [online]. Copyright © [cit. 16.03.2017]. Dostupné z: <http://www.mps-gradior.cz/uploads/download/id21/katalog-pro-web.pdf>
- [7] Download catalogues: Witzenmann Supports for pipelines [online]. Copyright © vD3 [cit. 20.03.2017]. Dostupné z: http://www.witzenmann.cz/en/media/Supports_for_Pipelines_1758uk_7_03_15_pdf.pdf
- [8] Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní [online]. Copyright © [cit. 21.03.2017]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm
- [9] WILDA, V., a KOLEKTIV AUTORŮ: Projektování průmyslových potrubí a potrubních rozvodů, 1. vydání, Vydalo SNTL-Nakladatelství technické literatury Praha 1, Praha, 1968, 240s.
- [10] POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: Bezešvé trubky. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 413 s.
- [11] Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní [online]. Copyright © [cit. 21.03.2017]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
- [12] MIKULA, Julius. Potrubí a armatury. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969, 588 s. Technický průvodce (SNTL).
- [13] PAVLOK, Bohuslav, Sylva DRÁBKOVÁ a Jana RAUTOVÁ. Potrubní systémy a armatury: studijní opora [online]. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2017-03-04]. ISBN 978-80-248-2518-2. Dostupné z: http://www.338.vsb.cz/PDF/Dil1_Pav.pdf
- [14] Dilatace potrubí [online]. b.r. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://eluc.krolomoucky.>

- [15] Projektování potrubí: Jiné rozebíratelné spoje. Ipotrubi.cz [online]. 2013 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.ipotrubi.cz/clanky/3.-projektovani-potrubi/5.potrubnispoje/jine-rozebiratelne-spoje.html>
- [16] MIKULA, Julius. Potrubí a armatury. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969, 588 s. Technický průvodce (SNTL).
- [17] SPIRAX SARCO. Rozvod páry: Příručka pro projektanty. Korytany
- [18] ČSN EN 10216-2+A2 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové a zařízení – technické dodací podmínky – část 2: trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách
- [19] Using Thermal Imaging to Troubleshoot Solar Water Heating Systems | SolarPro Magazine. SolarPro Magazine | Optimal Design, Installation & Performance [online]. Copyright © 2017 Home Power Inc. All Rights Reserved. [cit. 19.05.2017]. Dostupné z: <http://solarprofessional.com/articles/products-equipment/solar-heating/using-thermal-imaging-to-troubleshoot-solar-water-heating>
- [20] ČSN EN 13480-3: Kovová průmyslová potrubí. Praha: Český normalizační institut, 2003,
- [21] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Process Piping. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2012. ISBN 978-07-918-3421-3.
- [22] Pounds per square inch - Wikipedia. [online]. [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Pounds_per_square_inch
- [23] Teorie napjatosti [online]. Copyright © [cit. 01.05.2017]. Dostupné z: http://mechanika2.fs.cvut.cz/sources_old/pp1/teor31.htm
- [24] Katedra mechaniky, Západočeská univerzita v Plzni [online]. Copyright © [cit. 01.05.2017]. Dostupné z: https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp/napjatost-a-hypotezy-pevnosti/graphics/obr_nap.gif
- [25] Mises Criterion & Tresca Criterion - FailureCriteria.com. Failure Theory for Materials Science and Engineering - FailureCriteria.com [online]. Copyright © 2017 [cit. 20.03.2017]. Dostupné z: <http://www.failurecriteria.com/misescriteriontr.html>
- [26] MPS Gradior s.r.o. | MPS Gradior s.r.o. [online]. Copyright © [cit. 16.03.2017]. Dostupné z: <http://www.mps-gradior.cz/uploads/download/id27/Pokyny%20pro%20projektov%C3%A1n%C3%AD%20ulo%C5%BEen%C3%AD%20potrub%C3%AD.pdf>
- [27] ČSN EN 10028-2-01-2010: Ploché výrobky pro tlakové nádoby a zařízení z legovaných a nelegovaných ocelí pro vyšší teploty Technické dodací podmínky. Praha: Český normalizační institut, 2010,

9. Použité symboly a zkratky

Symbol	význam	jednotka
q	jednotková tepelná ztráta	W/m^2
α_1	součinitel přestupu tepla	$W/m^2 \cdot K$
α_2	součinitel přestupu tepla	$W/m^2 \cdot K$
λ	tepelná vodivost materiálu	$W/m \cdot K$
δ	tloušťka jednotlivé izolační vrstvy	m
t_f	teplota média v trubce	$^{\circ}C$
Δt	rozdíl teplot na obou stranách stěny	$^{\circ}C$
$[\sigma]$	dovolené napětí	MPa
k	bezpečnost	-
$R_{p0,2}$	maximální hodnota meze kluzu	MPa
σ_{nam}	získané napětí	MPa
DN	Jmenovitý průměr trubky	mm
S	Obsah	m^2
F	Síla	N

10. Seznam příloh

10.1 Přílohy v deskách bakalářské práce

Příloha 1: Výkres sestavy, číslo výkresu 731-1400-3-1230

Příloha 2: Výkres pozice 1, číslo výkresu 1-731-1400-3-1230

Příloha 3: Výkres pozice 2,3,4 a 8, číslo výkresu D-731-1400-3-1230

10.2 Příloha na CD

Příloha 1: Projekt v programu Ansys Workbench

Příloha 2: Model závěsu z programu Solidworks

Příloha 3: Výkresová dokumentace

Tato práce vznikla za podpory a na přístrojovém vybavení NETME Centre, regionálního výzkumného a vývojového centra vybudovaného z finančních prostředků Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace v rámci projektu NETME Centre (Nové technologie pro strojírenství), Reg. č.: CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a podporovaného v navazující fázi udržitelnosti prostřednictvím projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

This thesis was elaborated with support and by using research equipment of NETME Centre, regional research and development centre, built with the financial support from the Operational Programme Research and Development for Innovations within the project NETME Centre (New Technologies for Mechanical Engineering), Reg. No. CZ.1.05/2.1.00/01.0002 and in the follow-up sustainability stage, financially supported through NETME CENTRE PLUS (LO1202) by the Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I“.